



Schlussbericht vom 10.11.2022

VenTSol

Erfassung des Benutzerverhaltens bezüglich
Lüftung, Raumtemperatur und Verschattung in
Abhängigkeit des Aussenklimas





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung



INSTITUT FÜR
SOLARTECHNIK

econcept
Forschung / Beratung / Evaluation

Datum: 10.11.2022

Ort: Rapperswil

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger/innen:

SPF Institut für Solartechnik
OST – Ostschweizer Fachhochschule
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
www.spf.ch

econcept AG

Gerechtigkeitsgasse 20, CH-8002 Zürich
www.econcept.ch

Autor/in:

Igor Bosshard-Mojic, SPF, igor.bosshard@ost.ch
Daniel Zenhäusern, SPF, daniel.zenhaeusern@ost.ch
Neha Dimri, SPF, neha.dimri@ost.ch
Jeremias Schmidli, SPF, jeremias.schmidli@ost.ch
Michel Haller, SPF, michel.haller@ost.ch
Corinne Moser, econcept AG, corinne.moser@econcept.ch
Walter Ott, econcept AG, walter.ott@econcept.ch

BFE-Projektbegleitung:

Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
Nadège Vetterli, nadege.vetterli@anex.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501880-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer hat einen wesentlichen Einfluss auf die Abweichung zwischen dem gemessenen Energieverbrauch eines Gebäudes und dem in der Planung ausgewiesenen («Energy Performance Gap»). Im Projekt VenTSol wurde überprüft, ob und wie stark das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer bezüglich Fensteröffnung und Fensterverschattung von den klimatischen Bedingungen abhängig ist. Im Projekt wurden fünf Mehrfamilienhäuser (drei Siedlungen: ZH, HO, BE in Zürich, Horgen bzw. Bern) genauer untersucht. Dabei wurden möglichst alle Fassadenseiten mit Thermografie und Fotografie erfasst, um Öffnung und Verschattung der Fenster mit Hilfe eines Bilderkennungsalgorithmus zu ermitteln. Die Methode mittels Thermografieaufnahmen offene Fenster zu detektieren, musste im Gegensatz zur Fotografie (Verschattung) aufgrund ungenügender Qualität der Resultate verworfen werden. Zusätzlich zu den Fassadenaufnahmen wurden in vielen Wohnungen Sensoren zur Erfassung der Raumlufttemperatur, relativen Feuchte und CO₂-Konzentration installiert. An einigen Fenstern wurden zusätzlich Kontakt-Öffnungssensoren angebracht. Parallel zur Messkampagne wurde eine Befragung der Bewohnerinnen und Bewohner durchgeführt. Das Ziel, ein realistisches Nutzerverhalten für dynamische Gebäudesimulationen und andere Berechnungsmethoden zu definieren, um den real gemessenen Energieverbrauch von Wohngebäuden besser abzubilden, konnte im Rahmen dieser Studie erreicht werden. Die Hypothesen aus der BFE Studie ImmoGap bezüglich des Energieverbrauchs und des Nutzerverhalten konnten bestätigt werden.

Résumé

Le comportement des utilisateurs a une influence considérable sur l'écart entre la consommation d'énergie mesurée d'un bâtiment et celle estimée lors de sa planification («Energy Performance Gap»). Le projet VenTSol a analysé si et dans quelle mesure le comportement des utilisateurs en termes d'ouverture et d'ombrage des fenêtres dépendait des conditions climatiques. Cinq immeubles d'habitation (trois lotissements : ZH, HO, BE) ont été examinés de plus près. Dans la mesure du possible, toutes les façades ont été photographiées et thermographiées afin de déterminer l'ouverture et l'ombrage des fenêtres à l'aide d'un algorithme de reconnaissance d'images. Pour la détection des fenêtres ombragées (photographies), cette nouvelle méthode a été appliquée avec succès. Par contre, la détection des fenêtres ouvertes au moyen de la thermographie a dû être abandonnée, en raison de la qualité insuffisante des résultats. En plus des relevés de façade, des capteurs de confort ont été installés dans de nombreux appartements ainsi que des capteurs d'ouverture sur certaines fenêtres. Parallèlement à la campagne de mesure, un sondage a été mené auprès des habitants. L'objectif de la présente étude, notamment de définir un comportement réaliste des utilisateurs pour les simulations dynamiques des bâtiments et d'autres méthodes de calcul, afin d'obtenir un meilleur accord avec la consommation d'énergie des bâtiments d'habitation réellement mesurée, a pu être atteint. Les hypothèses de l'étude ImmoGap de l'OFEN concernant la consommation d'énergie et le comportement des utilisateurs ont pu être confirmées.



Summary

The behaviour of the users has a significant influence on the deviation between the measured energy consumption of a building and that shown in the planning («Energy Performance Gap»). In the VenTSol project, it was examined whether and to what extent the behaviour of the users with regard to window opening and window shading depends on the climatic conditions. Five apartment buildings (three housing estates: ZH, HO, BE) were examined more closely in the project. As far as possible, all façade sides were recorded using thermography and photography to determine the opening and shading of the windows. The method of detecting open windows using thermographic images, in contrast to photography (shading), had to be discarded due to insufficient quality of the results. In addition to the façade photos, comfort sensors were installed in many flats and opening sensors on some windows. Parallel to the measurement campaign, a survey of residents was conducted. The goal of defining a realistic user behaviour for dynamic building simulations and other calculation methods in order to better represent the real measured energy consumption of residential buildings was achieved within the scope of this study. The hypotheses from the SFOE project ImmoGap regarding energy consumption and user behaviour were confirmed.

Take-home messages

- Es wurde ein realistisches Nutzerprofil erstellt, welches das Verhalten von Bewohnerinnen und Bewohnern bezüglich Fensterlüftung, Fensterverschattung mittels Storen und Raumtemperatur-Einstellungen abbildet. Das «realistische Nutzungsprofil» kann über die mittlere Tagesaussentemperatur gut beschrieben werden und ist damit dynamisch für verschiedene Standorte und Klimadaten einsetzbar.
- Die Ergebnisse stimmen gut mit den Analysen aus der BFE-Studie «ImmoGap» zum Thema Performance Gap überein. In den Frühlings- und Herbstmonaten ist der Wärmebedarf deutlich grösser als in den heute üblichen Berechnungen, bei denen in der Regel das «ideale» Nutzerverhalten angenommen wird. Dieser Effekt kann durch das realistische Benutzerverhalten vollständig erklärt werden.
- Die massgeblichen Einflussfaktoren auf den erhöhten Wärmebedarf sind:
 - Deutlich höhere Infiltration aufgrund von vermehrtem Fensteröffnen. Die Fensteröffnungsrate steigt mit der Aussentemperatur deutlich an.
 - Deutlich geringere solare Gewinne aufgrund von Verschattung der Fenster über Storen. 50% der Fenster sind auch an den kältesten Tagen verschattet, wobei die Verschattungsrate mit zunehmender Aussentemperatur zunimmt.
 - Erhöhte Transmissionsverluste aufgrund höherer Raumtemperaturen. Im Schnitt betragen die Raumtemperaturen 23 °C.
- Eine Befragung der Bewohnerinnen und Bewohner lässt darauf schliessen, dass die Bauweise (z.B. Fenstergrösse etc.) auch mit relativ hohen Raumtemperaturen zu ungenügendem Komfort führen kann. Dies würde auch erklären, wieso die Bewohnerinnen und Bewohner in modernen Gebäuden tendenziell höhere Sollraumtemperaturen einstellen.



Danksagung

Ein sehr grosser Dank gilt den im Projekt involvierten Bewohnerinnen und Bewohnern sowie den Gebäudeeigentümerschaften. Ohne ihre Offenheit und Bereitschaft, Daten für die Forschung freizugeben, und ohne ihre Kooperation bei den Datenerhebungen, wäre eine solche Studie nicht möglich gewesen. Weiter möchten wir uns auch für die Geduld aller Beteiligten bedanken, denn bei einer Studie wie der vorliegenden, die in ihrer Art neu ist, kann kaum auf bestehende Erfahrung zurückgegriffen werden, was wiederum unweigerlich zu diversen Herausforderungen führt.

Ein grosser Dank gebührt auch der Begleitgruppe, bestehend aus den nachfolgenden Personen. Sie hat dem Projektteam viele wertvolle Inputs geliefert und sich Zeit für anregende Diskussionen genommen.

- Christoph Gmür, AWEL Zürich
- Franz Sprecher, AHB Zürich
- Martin Ménard, Low-Tech Lab GmbH
- Pierre Hollmuller, Universität Genf
- Robert Minovsky, Minergie
- Sven Moosberger, EQUA Schweiz
- Nadège Vetterli, BFE

Wir möchten uns auch bei der Firma AVELON (www.avelon.com) bedanken, welche das SPF mit der benötigten IoT-Infrastruktur im Rahmen dieses Projektes unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	12
1.1	Ausgangslage und Hintergrund	12
1.2	Motivation des Projektes	14
1.3	Projektziele	14
2	Vorgehen und Methode	15
2.1	Monitoring und Datenerhebung	15
2.2	Bildanalyse	18
2.3	Simulationen	19
2.4	Umfrage	25
3	Ergebnisse und Diskussion	26
3.1	Fensteröffnung und Fensterverschattung	26
3.2	Raumtemperaturen und Heizwärmebedarf	42
3.3	Befragung	52
3.4	Modell reales Nutzerverhalten	67
4	Schlussfolgerungen	76
4.1	Messkampagne	76
4.2	Befragung	76
4.3	Realistisches Nutzerprofil	77
5	Ausblick und zukünftige Umsetzung	79
6	Literaturverzeichnis	80



Abkürzungsverzeichnis

BE	Siedlung Bern
BWW	Brauchwarmwasser
CAT	Caterpillar
EBF	Energiebezugsfläche
EFH	Einfamilienhaus
HO	Siedlung Horgen
KWL	Komfortwohnungs Lüftung
MFH	Mehrfamilienhaus
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
ZH	Siedlung Zürich

Executive Summary

Das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer hat einen wesentlichen Einfluss auf die Abweichung zwischen dem gemessenen Energieverbrauch eines Gebäudes und dem in der Planung ausgewiesenen. Dieser Einfluss der Nutzerinnen und Nutzer auf den sogenannten "Energy Performance Gap" konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden. Im vorliegenden Projekt (VenTSol) wurde überprüft, ob und wie stark das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer bezüglich Fensteröffnung und Fensterverschattung von den klimatischen Bedingungen abhängig ist. Im Projekt wurden fünf Mehrfamilienhäuser (drei Siedlungen: ZH, HO, BE) genauer untersucht. Dabei wurden möglichst alle Fassadenseiten mit Thermografie und Fotografie erfasst, um Öffnung und Verschattung der Fenster zu ermitteln. Zusätzlich wurden in möglichst vielen Wohnungen Komfortsensoren und an einigen Fenstern Öffnungssensoren installiert, sowie eine Befragung der Bewohnerinnen und Bewohner durchgeführt. Das Ziel des Projekts war, ein realistisches Nutzerverhalten für dynamische Gebäudesimulationen und andere Berechnungsmethoden zu erarbeiten, um den real gemessenen Energieverbrauch von Wohngebäuden besser abzubilden.

Messungen

Die Ermittlung der Fensterverschattungsanteile über die automatische Bildanalyse hat zufriedenstellend funktioniert. Die Analyse der Fensteröffnungen durch automatische Verarbeitung von Wärmebildern hat sich jedoch als zu wenig verlässlich erwiesen. Dies aus verschiedenen Gründen: Zum einen die relativ geringe Auflösung der IR-Kameras. Dann der sich mit der Zeit stark ändernde Kontrast zwischen Innen- und Aussentemperatur. Hinzu kamen diverse Störfaktoren, wie Reflexionen der Sonne und der Nachbarhäuser an den Fenstern, Austrieb von Bäumen und Büschen oder Bauteile wie z.B. Fensterrahmen etc. Die Fensteröffnungsanteile konnten also nur anhand der an zwanzig Fenstern in ZH und BE installierten Kontaktsensoren ermittelt werden.

Die Analyse hat gezeigt, dass die Fensteröffnungsrate mit steigenden Aussenlufttemperaturen deutlich zunimmt. Ein ähnlicher aber schwächerer Zusammenhang besteht mit der solaren Einstrahlung, während zu den anderen Umgebungsvariablen (Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsmenge) praktisch kein Zusammenhang besteht. Die Abhängigkeit der Fensteröffnungsrate von der Aussentemperatur ist ähnlich, wie sie in einer ausführlichen Studie von anderen Autoren beobachtet wurde.

Bei den Verschattungsanteilen hat sich gezeigt, dass diese durchwegs hohe Werte (> 40 - 50 %) aufweisen. Auch diese nehmen zu mit steigenden Aussenlufttemperaturen. Und wiederum ist die Aussenlufttemperatur diejenige Klimavariablen, welche die Variation der Werte am besten erklären kann.

Die gemessenen Raumtemperaturen waren in den Wintermonaten fast überall > 22 °C, meist > 23 °C. Im Mittel stimmten sie gut mit den Raumsolltemperaturen überein. Im Fall von Horgen, wo eine entsprechende Analyse möglich war, erreichten verhältnismässig viele der Erdgeschosswohnungen die Solltemperaturen nicht, während die Verteilungen der positiven und negativen Abweichungen in den mittleren Geschossen und den Dachwohnungen symmetrisch ausfielen.

Erwartungsgemäss zeigte sich ein klarer Anstieg des flächenspezifischen Heizbedarfs in Funktion der Sollraumtemperatur. Die Abhängigkeit des gesamten Heizbedarfs der Gebäude in Funktion der Aussenlufttemperatur entsprach im Fall von Horgen in etwa dem in den Simulationen als «realistisch» bezeichneten Nutzerverhalten, während sie im Fall von Bern (jedoch mit deutlich weniger Wohnungen) zirka dem «Standard» Nutzerverhalten entsprach.



Befragung

Durch die Kollaboration mit den Geschäftsstellen und durch die Präsenz des Forschungsteams vor Ort konnte in den drei Siedlungen eine Befragung mit einer hohen Rücklaufquote von 67% realisiert werden. Aufgrund dieser hohen Rücklaufquote sind die Erkenntnisse aus der Befragung breit abgestützt. Speziell zu erwähnen ist, dass eine breite Diversität von Haushalten (z.B. unterschiedliche Haushaltsgrössen, unterschiedliche Bewohnerstruktur) mit der Umfrage abgedeckt werden konnte.

Die Befragung zeigt, dass sich die Bewohner/innen in den beiden grösseren Siedlungen (je zwei Mehrfamilienhäuser) für das Thema Energiesparen interessieren und über ein Problembewusstsein verfügen. Bei den Bewohnern/innen der Siedlung ZH ist dieses Problembewusstsein noch etwas ausgeprägter, was vermutlich auf die urbane, sehr gut gebildete Mieterschaft zurückzuführen ist und auf die Werte der Eigentümerschaft.

Beim Vergleich zwischen den von den Bewohnern selbst gemessenen und gefühlten Temperaturen zeigen sich keine oder nur geringe Zusammenhänge. Das bedeutet, dass beispielsweise empfundenes Unbehagen nicht mit tiefen Raumlufftemperaturen korreliert. Dies deutet darauf hin, dass das Temperaturempfinden noch von weiteren Faktoren abhängt und damit die Raumlufftemperatur nicht in jedem Fall ausreichend ist, um den Komfort zu beurteilen. Interessant sind in diesem Zusammenhang die unterschiedlichen Wahrnehmungen in den zwei grösseren Siedlungen: in ZH ist es den Bewohnern/innen im Winter eher zu warm und in HO eher zu kalt. Die durch die Bewohner selbst gemessene Durchschnittstemperatur ist in HO aber höher als in ZH. Ein möglicher Grund für diese Diskrepanz sind Unterschiede in den Bauweisen zwischen den Siedlungen ZH und HO. In HO könnten die grösseren Fensterflächen dazu führen, dass Temperaturen im Winter als niedriger empfunden werden, als sie tatsächlich sind.

Realistisches Benutzerprofil

Basierend auf den Erkenntnissen der Messungen und der Befragung wurde eine Parameterstudie durchgeführt. Dazu wurde im Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS ein Referenz-Mehrfamilienhaus mit unterschiedlichen Annahmen zum Benutzerverhalten simuliert und dabei 1500 Simulationsergebnisse generiert. Diese Resultate wurden realen Messdaten von 40 Mehrfamilienhäusern aus der BFE-Studie ImmoGap gegenübergestellt, um die beste Parameterkombination aus Verschattung, Fensteröffnung und Temperatursollwert-Einstellung zu finden.

Die Ergebnisse für die optimale Parameterkombination in Form einer relativen und absoluten Energiesignatur sind in Abbildung 1 dargestellt. Für den Fit wurde ein Polynom dritten Grades gewählt. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse für einen Neubau und einen Altbau für den Jahresheizwärmebedarf im Detail aufgeführt. Die Ergebnisse stimmen für den Neubau sehr gut mit den Messdaten aus der ImmoGap-Studie überein, für den Altbau ist die Zunahme des Wärmebedarfs aufgrund des realistischen Nutzerverhaltens eher als hoch zu bewerten. Aus diesem Grund ist das hier erarbeitete «realistische Nutzerverhalten» vorwiegend für Neu- und Sanierungsbauten geeignet, wo der «Energy Performance Gap» auch am grössten ist.

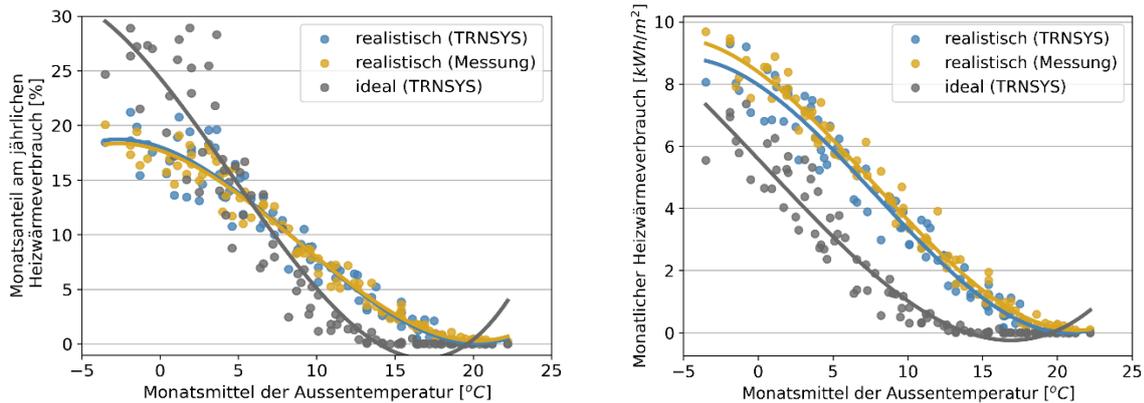


Abbildung 1: Vergleich von Simulationsergebnisse mit realistischem Nutzerverhalten (blau), idealem Nutzerverhalten (grau) und Messdaten von 40 Gebäuden (gelb). Monatlicher Anteil am jährlichen Heizwärmeverbrauch für die Jahre 2009 – 2015 und 2018. Links: Relative Energiesignatur. Rechts: Absolute Energiesignatur bezogen auf die Energiebezugsfläche.

Tabelle 1: Vergleich des spezifischen Heizwärmebedarfs für zwei unterschiedliche Gebäude in Abhängigkeit des Nutzerverhaltens und der Berechnungsmethode (Normberechnung vs. dynamische Simulation).

	SIA 380/1 Berechnung	TRNSYS Simulation	TRNSYS Simulation	TRNSYS Simulation
Nutzerverhalten	Ideal		Real	Differenz Ideal vs. Real
Neubau (MuKE n 2014)	33.5 kWh/m ²	24.9 kWh/m ²	51.0 kWh/m ²	26.1 kWh/m ² (+105%)
Altbau	150.1 kWh/m ²	134.3 kWh/m ²	177.3 kWh/m ²	43.0 kWh/m ² (+32%)

Mit der Definition des realistischen Nutzerprofils für Wohnbauten konnte das Hauptziel dieses Projektes erreicht werden. Dieses kann nun für dynamische Gebäudesimulationen oder statische Berechnungen verwendet werden, um Ergebnisse zu erzeugen, die näher an der Realität (Messungen) sind. Im Vergleich mit Methoden aus der Literatur [1] ist der hier vorgeschlagene Ansatz einfacher umzusetzen und kann praktisch in jedes Simulationsprogramm integriert werden.



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer hat einen wesentlichen Einfluss auf die Abweichung zwischen dem gemessenen Energieverbrauch eines Gebäudes und dem in der Planung ausgewiesenen. Dieser Einfluss der Nutzerinnen und Nutzer auf den sogenannten «Energy Performance Gap» konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden. Im BFE-Projekt ImmoGap [2] konnten teilweise technische Gründe für die Abweichung zwischen Planung und Betrieb für 65 Mehrfamilienhäuser ermittelt werden. Jedoch lässt sich auch nach Wetter- und Raumtemperaturkorrekturen damit nur ein Teil der Abweichungen erklären. Auf Grund der Resultate wird davon ausgegangen, dass das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer bezüglich Fensterlüften, Verschattung und gewünschter Raumtemperatur einen grösseren Einfluss auf die Abweichungen hat als Aspekte der Gebäudetechnikanlagen. Diverse internationale Studien kommen zu ähnlichen Schlussfolgerungen [3,4]. In Abbildung 1 und Abbildung 2 werden für zwei repräsentative Gebäude (grün/rot) reale Messdaten mit den Berechnungen nach SIA 380/1:2009 verglichen. Dabei wird in Abbildung 1 der Monatsanteil am Heizwärmeverbrauch in Abhängigkeit vom Monatsmittel der Aussentemperatur dargestellt. Es fällt auf, dass im Winter, bei tiefen Aussentemperaturen, im Verhältnis zum Gesamtbedarf in Realität weniger Heizwärme benötigt wird als mit der Norm berechnet. Dafür ist in der Übergangszeit der reale Anteil viel grösser. Betrachtet man die absoluten Werte wie in Abbildung 2 dargestellt, dann wird deutlich, dass ein Mehrverbrauch gegenüber der Berechnung (Performance Gap) vor allem auf die Übergangszeit zurückzuführen ist. Man kann auch im Winter eine Differenz erkennen zwischen Normrechnung und realem Betrieb. Diese Abweichung, die möglicherweise ein Resultat generell höherer Raumtemperatureinstellungen ist, fällt jedoch viel geringer aus als in der Übergangszeit. Eine Erklärung für die festgestellten Unterschiede zwischen Winter und Übergangszeit könnte sein, dass im Vergleich zum Winter in der Übergangszeit die Fenster häufiger geöffnet und die Fensterstoren öfter gesenkt sind, als dies in den Normen angenommen wird. Diese Hypothese konnte im Projekt ImmoGap mit dynamischen Simulationen von unterschiedlichem Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer gestützt werden, jedoch nicht mittels realer Messungen validiert werden, da keine Daten bezüglich der Fensteröffnung und Verschattung zur Verfügung standen.

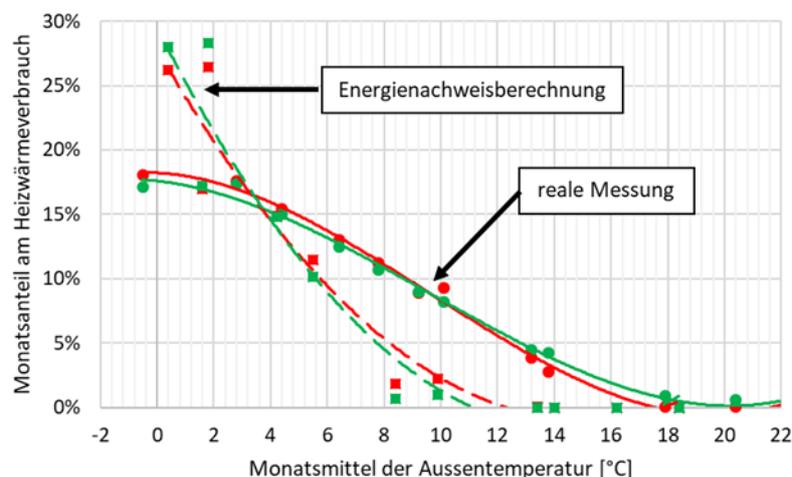


Abbildung 2: Vergleich des monatlichen Anteils am Heizwärmeverbrauch der Berechnung mit Standardwerten (Energienachweis) und der realen Messwerte von zwei im Detail untersuchten Gebäuden [1] (rot/grün).

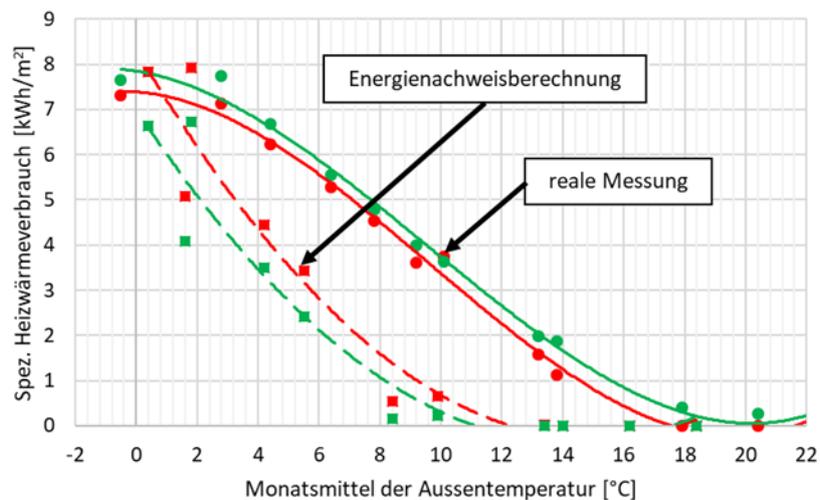


Abbildung 3: Vergleich der Energiekennlinie (absolute Werte) der Berechnung mit Standardwerten (Energienachweis) und der realen Messwerte von zwei im Detail untersuchten Gebäuden [1] (rot/grün).

Das Fehlen von Daten zum realen Verhalten der Nutzerinnen und Nutzern betrifft auch wesentlich die Gebäudesimulationen. In der Praxis sind häufig Vorbehalte gegenüber den Gebäudesimulationen anzutreffen, gerade weil die Ergebnisse nicht immer mit der Realität übereinstimmen. Dabei ist die Abweichung zwischen Simulation und realer Messung heute vorwiegend auf die fehlenden Daten zum Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer zurückzuführen. Die rein physikalischen Zusammenhänge ohne Einfluss der Nutzerinnen und Nutzer wie zum Beispiel Wärmeverluste über die Wände und Fenster oder solare Gewinne werden durch moderne Simulationsprogramme relativ gut abgebildet. Die hohe Anzahl an eher neuen Studien zum Thema Modellierung des Verhaltens der Nutzerinnen und Nutzer in Simulationen bestätigt die Relevanz, dieses Verhalten besser zu verstehen. Denn je besser die Gebäudehülle wird, desto grösser wird der Einfluss des Verhaltens auf den Energiebedarf eines Gebäudes [2]. Wenn dieses realistisch abgebildet werden kann, wird ein grosser Teil der Differenz zwischen Berechnung (Simulation) und Messung eliminiert.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes «VenTSol» und bereits in den Vorbereitungen dazu wurden gesamthaft 26 Beiträge (Journal Paper, Konferenzbeiträge etc.) zum Thema analysiert. Berücksichtigt man die Review Papers zum Thema [3,4] welche bis zu 500 Studien ausgewertet haben, kann man davon ausgehen, dass mit dieser Literaturlanalyse eine grosse Anzahl relevanter Ergebnisse erfasst wurde. Nachfolgend einige Kernaussagen aus dieser Literaturlanalyse:

- Die meisten der ausgewerteten Studien befassen sich mit dem Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer in Bürogebäuden, nur wenige Studien betrachten Mehrfamilienhäuser.
- Fast alle Studien befassen sich mit dem Fensteröffnen, nur wenige mit dem Sonnenschutz.
- Keine Studie hat den kombinierten Einfluss von Sonnenschutz und Fensteröffnung auf den Heizwärmebedarf für Wohnhäuser untersucht.
- Es kann ein deutlicher Zusammenhang zwischen Aussentemperatur und Lüftungsverhalten festgestellt werden. Mit zunehmender Aussentemperatur steigt die Wahrscheinlichkeit von offenen Fenstern.
- In mechanisch gelüfteten Gebäuden werden die Fenster tendenziell seltener geöffnet.



- Es wurden unterschiedliche (stochastische) Modelle erarbeitet, um ein realistisches Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer in Gebäudesimulationen abzubilden. Diese sind jedoch komplex und können nicht für eine direkte Verbesserung der Normberechnung verwendet werden.

1.2 Motivation des Projektes

Um die Differenz zwischen Planung und Messung (Performance Gap) zu reduzieren, müssen sowohl die Norm-Berechnungen (z.B. SIA 380/1 - Optimierung) als auch die Gebäudesimulationen mit einem realistischem Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer durchgeführt werden. Eine Reduktion des User-Gaps, respektive Norm-Gaps [2], hilft in Zukunft, in Kombination mit vermehrtem Monitoring, Fehler bei der Gebäudetechnik zu erkennen. Heute wird eine Abweichung zwischen Planung und Messung häufig durch das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer erklärt, da dieses die Messwerte in einem gut gedämmten Gebäude am stärksten beeinflussen kann. Durch bessere Normberechnungen wird die Grundlage geschaffen, ein Gebäudeassessment, und damit auch eine zielführende Betriebsoptimierung, mit geringem Aufwand durchzuführen.

Mit dieser Studie wird durch ein umfangreiches Monitoring von ausgewählten Mehrfamilienhäusern die Hypothese aus dem BFE-Projekt ImmoGap [2] geprüft, dass der «Energy Performance Gap» vor allem durch das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer im Frühling und Herbst verursacht wird. Dabei wird auf neuere Gebäude mit gutem bis sehr gutem Dämmstandard fokussiert. Für solche Gebäude liegen kaum Informationen zum Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer vor. Im Vergleich zu früher kann man heute eine Zunahme des Fensteranteils in den Bauten (Veränderung in der Architektur) oder eine Zunahme von Fussbodenheizungen und Lüftungen (Veränderungen in der Haustechnik) feststellen. Diese Beispiele können die Komfortsituation und damit auch den Energiebedarf in einem Gebäude stark beeinflussen.

Durch die hohe zeitliche Messauflösung von Verschattungsverhalten, Fensterlüftungsverhalten, Heizwärmeverbrauch und Raumkomfortwerten ist diese Studie im internationalen Kontext für Wohngebäude einzigartig. Kombiniert wird das Monitoring mit einer Befragung der Bewohnenden, um Hinweise auf die Hintergründe für das beobachtete Verhalten zu erheben. Damit sollen die Zusammenhänge zwischen Aussenklima, Innenklima, Reaktion der Nutzenden und Energieverbrauch besser verstanden werden, was wiederum zu besseren Energieverbrauchsprognosen führen soll.

1.3 Projektziele

Im Projekt sollen folgende Fragestellungen geklärt werden:

- Welche Aussenklima-Parameter beeinflussen das Verhalten bezüglich Verschattung und Fensterlüftung? Folgende Parameter werden untersucht: Globalstrahlung, Aussenlufttemperatur, relative Feuchte und Niederschlag.
- Können aus einer begrenzten Menge von Gebäuden repräsentative Benutzerprofile erstellt werden, die zu besseren Simulationsergebnissen führen (geringe Abweichung zwischen Messung und Simulation)?

Das Ziel des Projektes war es, durch Klärung der oben beschriebenen Fragen Grundlagen zu erarbeiten, welche zu einem realistischen Jahresverlauf des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1 [5] oder dynamischen Gebäudesimulationen für Wohngebäude führen.

2 Vorgehen und Methode

Das Projekt ist auf Mehrfamilienhäuser beschränkt und könnte in einem Folgeprojekt auf Einfamilienhäuser oder Verwaltungsbauten (Büros und Schulen) ausgeweitet werden. In den nachfolgenden Kapiteln werden das angewendete Vorgehen und die Methodik für die einzelnen Teilbereiche (Befragung, Messung, Auswertung, Simulation etc.) im Detail beschrieben. Die Auswertung erfolgt in anonymisierter Form, damit keine Rückschlüsse auf die Bewohner und Bewohnerinnen gezogen werden können, was dazu führt, dass nicht alle Details zu Grundriss, Fassaden etc. im Bericht dokumentiert werden können.

2.1 Monitoring und Datenerhebung

2.1.1 Gebäude

Im Projekt wurden an drei Standorten insgesamt fünf Mehrfamilienhäuser bezüglich des Nutzerverhaltens untersucht. Dabei wurden zwei Häuser am Standort Zürich, zwei in Horgen und ein MFH in Bern untersucht. In Tabelle 2 sind die wichtigsten Gebäudeeigenschaften pro Haus und Siedlung aufgeführt. Die Wahl der Wohngebäude wurde aufgrund der vorhandenen Kontakte zu den Gebäudebesitzern und den umfangreichen Messdaten im Fall von Horgen und Bern getroffen. Da dieses Projekt im Rahmen einer Ausschreibung bewilligt wurde, mussten die Gebäudeeigentümerschaften schon während der Antragsphase zusagen, was die Wahl der Gebäude und den Spielraum für Änderungen oder Anpassungen erschwert hat.

Tabelle 2: Übersicht einiger Gebäudeeigenschaften der untersuchten Häuser.

Siedlung	Zürich		Horgen		Bern
Haus	ZH_A	ZH_B	HO_A	HO_B	BE_A
Total Wohnungen	58	24	19	27	6
Energiebezugsfläche [m²]	10'590	k.A.	2'224	3'012	879
Wärmebedarf SIA380/1 [kWh/m²]	23.6	k.A.	25.8	28.6	30.3
Fensteranteil bezogen auf Energiebezugsfläche	17%	k.A.	26%	26%	k.A
Raumhohe Fenster	sehr wenig	sehr wenig	ca. 50%	ca. 50%	mehrheitlich
Komfortwohnungslüftung	mit	ohne	mit	mit	mit
Kippfenster	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Fussbodenheizung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Storenbedienung	manuell (Kurbel)	manuell (Kurbel)	manuell (el. Antrieb)	manuell (el. Antrieb)	manuell (el. Antrieb)
Einstellung Raumlufttemperatur	Handrad Stufen 1-5	Handrad Stufen 1-5	Digitales Display	Digitales Display	Digitales Display
Baujahr	2001	2001	2016	2016	2018

2.1.2 Fassadenaufnahmen

Im Vergleich zu anderen Studien [6–8] war ein Ziel dieses Projekts, über einen längeren Zeitraum möglichst alle Fassadenseiten von ausgewählten Wohnhäusern zu erfassen und mit einer hohen zeitlichen Auflösung das Nutzerverhalten zu ermitteln. Die Idee bestand darin, ein



Smartphone zu verwenden, welches gleichzeitig Thermografie- und Fotografieaufnahmen machen kann. Damit sollte dann einerseits festgestellt werden, ob ein Fenster geöffnet ist (Thermografie) und andererseits, ob die Storen oder Vorhänge verwendet werden (Fotografie). So kann mit wenigen Geräten ein grosser Teil der Fassaden erfasst werden, und es müssen keine aufwändigen Installationen bei jedem Fenster vorgenommen werden (Kontaktsensoren).

Für die Foto- und Thermografieaufnahmen der Fassaden wurde das Smartphone CAT S60 von Caterpillar verwendet. Die Fotoaufnahmen wurden mit der integrierten 13 MP Kamera mit einer Auflösung von 1280 x 720 erstellt. Die integrierte Wärmebildkamera der Firma FLIR (Lepton®) hat eine Auflösung von 80 x 60 Pixel bei einem Wellenlängenspektrum von 8-14 µm. Das Gesichtsfeld beträgt 46° x 35° mit einer Bildwiederholfrequenz von 8.7 Hz. Zusätzlich wurde das Android App «THERMAL CAMERA+» Version 3.0.0 für die Aufnahmen verwendet. Um die Aufnahmen automatisiert und regelmässig auszuführen, wurde ein Skript mit der Android App «Automate» von LlamaLab erstellt. Es wurden alle 15 Minuten Aufnahmen getätigt.

Die Smartphones wurden in eine separat angefertigte Box eingebaut und an geeigneten Balkongeländern oder auf dem Dach von gegenüberliegenden Gebäuden montiert. In Tabelle 3 sind die Details der Messkampagne pro Gebäude zusammengefasst. Insgesamt wurden etwa 550'000 Aufnahmen gemacht, welche anschliessend computergestützt ausgewertet wurden. Detaillierte Informationen zur Auswertungsmethodik sind im Kapitel 2.2 beschrieben.

Tabelle 3: Übersicht der Anzahl ausgewerteten Wohnungen und Fenster.

Siedlung	Zürich		Horgen		Bern		
Haus	ZH_A	ZH_B	HO_A	HO_B	BE_A	Total	% von Total
Total Wohnungen	58	24	19	27	6	134	100% (Ref.)
Komfort Messungen	33	16	14	10	5	78	58%
Total Fenster	380	134	82	119	37	752	100% (Ref.)
Fenster Öffnung	219	87	67	73	35	481	64%
Fenster Verschattung	245	86	63	73	35	502	67%
Anzahl Bilder	73'782	39'142	185'000	126'000	104'000	547'924	
Messperiode	01.02.2019 - 31.05.2019		01.10.2019 – 30.04.2022				

Beschwerden bezüglich der Aufnahmen der Fassaden, welche im Vorfeld als kritisch eingestuft wurden, sind durch die Bewohner und Bewohnerinnen keine eingegangen. Die proaktive Information der Bewohner und Bewohnerinnen im Vorfeld war hierfür sicherlich mitverantwortlich. Die Auswertung der Fenster hat sich als schwieriger erwiesen als bei Projektstart erwartet, da beispielsweise versetzte Fenster (z.B. Loggia) nicht erfasst werden konnten, oder durch Bäume verdeckte Fenster im Frühling nicht ausgewertet werden konnten. Weiter war die Kameraposition nicht immer frei wählbar, da die Anbringung der Aufnahmegeräte vom Wohlwollen von Nachbarinnen und Nachbarn oder der Gebäudeeigentümerschaften abhängig war. Dies führte dazu, dass die Aufnahmen zum Teil mit einem grossen Winkel zur Fassadenfläche erfolgt sind, was wiederum zu einer reduzierten

Anzahl auswertbarer Fenster führte. Zwei dieser Fälle sind beispielhaft in Abbildung 4 dargestellt.

Zur Messung des Fensteröffnungsverhaltens waren parallel zur Methode mit der Bildauswertung auch 20 magnetische Fensteröffnungssensoren, zuerst in den Gebäuden ZH_A und ZH_B, und später in BE_A direkt an Fenstern montiert worden. Es wurden dafür Fenster ausgewählt, welche gemäss den Benutzern regelmässig genutzt werden. Es handelt sich dabei um «tabs» Sensoren (TBDW100-915) der Firma TrackNet aus den USA.

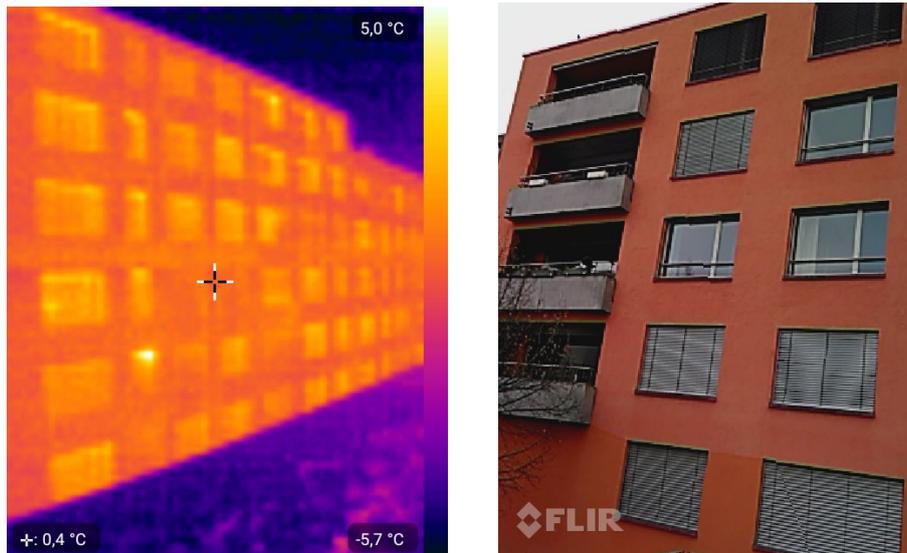


Abbildung 4: Links: Thermografieaufnahme mit Fenstern welche gut ausgewertet werden können (linker Rand) und Fenstern, die kaum ausgewertet werden können (rechter Rand). Rechts: Zwei Fensterreihen die sehr gut ausgewertet werden können und eine Reihe mit Balkonen, wo die Fenster nicht ausgewertet werden können (versetzte Fenster).

2.1.3 Energie- und Komfortmonitoring

Zusätzlich zu den Fassadenaufnahmen und den Kontaktsensoren bei den Fenstern, wurden in möglichst vielen Wohnungen IoT Messgeräte (s. Abbildung 5) installiert um die Komfortindikatoren CO₂-Konzentration, Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur zu messen (15 Minuten Zeitschritte). Die Messgeräte wurden vorwiegend im Wohnzimmerbereich installiert und in wenigen Fällen zusätzlich auch in Schlafzimmern. In der Siedlung Zürich konnten von 82 Wohnungen 49 mit Messgeräten ausgerüstet werden, in der Siedlung Horgen wurden 29 von 52 Wohnungen und in Bern 5 von 6 Wohnungen ausgerüstet. Leider konnten nicht alle Bewohnerinnen und Bewohner dafür motiviert werden, an der Studie teilzunehmen. Zusätzlich wurden folgende Messdaten ausgewertet, welche bereits gebäudeseitig erfasst wurden:

- Heizwärmeverbrauch pro Wohnung (Siedlung ZH: Tageswerte / Siedlung HO & BE: Stundenwerte)
- Gemessene Innenraumlufthtemperatur (nur Siedlung HO & BE)
- Sollwert der Innenraumlufthtemperatur (nur Siedlung HO & BE)



Abbildung 5: Verwendete Komfortsensoren (CO₂, Temperatur, relative Feuchte) im Projekt. Links: LoRaWAN sensor ERS CO₂ der Firma ELSYS aus Schweden. Rechts: LoRaWAN sensor VOC Wisely der Schweizer Firma AVELON.

2.2 Bildanalyse

Wie bereits in Abschnitt 2.1.2 erwähnt, nimmt jedes CAT-Smartphone zwei Arten von Bildern auf (thermografische und fotografische). Die Bildanalyse sowohl für thermische als auch für sichtbare Bilder wurde mit «you only look once version 3» (YOLOv3) durchgeführt, einer von Redmon und Farhadi [9] vorgeschlagenen Deep-Learning-Architektur zur Objekterkennung, beschrieben als «convolutional neural network» (CNN). Bei der Bildanalyse wurde das folgende Vorgehen angewendet:

1. Datenaufbereitung:

In diesem Schritt wurden Bilder von schlechter Qualität (z. B. unscharfe Bilder, von Ästen verdeckte Bilder, usw.) und Zeiträume mit fehlenden Daten identifiziert und herausgefiltert. Darüber hinaus wurden die thermografischen Aufnahmen mit Rechtecken ergänzt, welche die Fenstergrenzen markieren, was die automatische Erkennung eines offenen Fensters vereinfacht.

2. Training des neuronalen Netzes:

Verschattung: Der Fensterstatus wurde anhand von Markierungen für Fenster mit (a) keine Verschattung durch Storen, (b) halb verschattete Fenster und (c) zugezogenen Vorhängen definiert. Da die sichtbaren Bilder viel einfacher zu interpretieren waren als die Wärmebilder, wurden hier die Bilder für den Trainingsdatensatz nach dem Zufallsprinzip ausgewählt (100 Bilder wurden für jedes CAT ausgewählt, d. h. insgesamt 1200 Bilder). Die Fenster in jedem der ausgewählten Bilder wurden mit einer fensterspezifischen Bezeichnung versehen, so dass die Fenster nach der Auswertung den Wohnungen zugeordnet werden konnten.

Fensteröffnung: Der Trainingsdatensatz bestand aus einer Reihe von Bildern, bei denen jedes "offene" Fenster mit einer Markierung versehen war. Um diesen Datensatz von Bildern vorzubereiten, wurde jedes Fenster systematisch untersucht, um, wo immer möglich, mindestens ein Bild zu finden, auf dem es offen ist. Diese Bilder mit offenen Fenstern, die mit der Kennung "offen" versehen waren, wurden ausgewählt, um eine genügend hohe Anzahl von Beispielen mit offenen Fenstern zu erhalten. Leider konnte für die Gebäude in Horgen (HO_A, HO_B) kein zufriedenstellender Trainingsdatensatz erstellt werden, da die offenen Fenster nicht eindeutig identifiziert werden konnten. Dies zum einen, weil die Fenster teilweise zu stark von den schwarzen Storen verdeckt wurden und zum anderen die Fenster vor allem nach Sonnenuntergang offen zu sein schienen, wo es nicht möglich ist, den Zustand mit den sichtbaren/fotografischen Bildern zu validieren. Auch im Fall von Zürich war die Erstellung eines guten Trainingsdatensatzes schwierig. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass offene Fenster (identifiziert durch Kontaktsensoren oder in Fotografien) oftmals in den Thermografien nicht erkennbar sind. Solche Bilder in den Trainingsdatensatz aufzunehmen, würde dazu führen, dass der Algorithmus später viele geschlossene Fenster als offen erkennt (false positives). Die gewählte Alternative bestand darin, nur klar als offen erkennbare Fenster für das Training zu verwenden, wodurch jedoch bei der anschließenden automatischen Bilderkennung viele offene Fenster unerkannt blieben (false negatives).

3. Vorhersage des Zustandes:

Nach dem Trainingsprozess wird mittels Algorithmus der Öffnungszustand bzw. der Verschattungszustand der Fenster, über den gesamten Bilddatensatz ermittelt. Die Ergebnisse der Vorhersage geben (a) den erkannten Fensterstatus (entsprechend den im Trainingsset definierten Markern), (b) die Position des Fensters und (c) die Vorhersagegenauigkeit für den erfassten Zustand.

4. Nachbearbeitung:

In diesem Schritt wurden die Ergebnisse der Vorhersage für die unterschiedlichen Fenster zusammengeführt, um den Öffnungs-/Verschattungsstatus pro Fenster und Gebäude zu bestimmen. Teilweise hatten sich die Ausrichtungen der CATs ungewollt verändert, was dazu führte, dass sich (a) die Position der Fenster innerhalb der einzelnen Bilder änderte und (b) einige Fenster aus dem Aufnahmebereich herausfielen. Diese Faktoren wurden in der Nachbearbeitung ebenfalls berücksichtigt.

2.3 Simulationen

Um das realistische Nutzerverhalten in Simulationen besser abzubilden, wurde eine Parameterstudie mit dem Simulationsprogramm Trnsys 18 durchgeführt. Für die Untersuchungen wurde das am SPF entwickelte Referenz-Mehrfamilienhaus [10] verwendet. Die Simulationen wurden dann mit durchschnittlichen Messdaten von 40 verschiedenen Mehrfamilienhäusern im Kanton Zürich verglichen. Mit allen möglichen Kombinationen der Parameter wurden dynamische Jahressimulationen auf Stundenbasis für die Jahre 2009-2015, sowie für das Jahr 2018¹ durchgeführt. Insgesamt wurden so 1600 Kombinationen simuliert und ausgewertet.

¹ Die Jahre 2016 und 2017 konnten nicht ausgewertet werden, da die Klimadaten fehlerhaft waren und zu Problemen bei der Simulation geführt haben.



Im Gebäudemodell wurde ein ideales Wärmeabgabesystem verwendet mit hoher Leistung, damit die Temperatursollwerte zu jedem Zeitpunkt erreicht werden können. Dies führt einerseits dazu, dass hohe Leistungsspitzen auftreten können und keine thermische Verzögerung berücksichtigt wurde (Fussbodenheizung) und andererseits das Nutzerverhalten im Extremfall nicht «bestraft» wird durch schlechten Komfort (Unbehagen). Entsprechend wurde bei der Definition des «realistischen Nutzerverhaltens» im Kapitel 3.4 die Komfortbewertung und Heizleistung bei der Auswertung mitberücksichtigt. Die Verzögerung der Wärmeabgabe durch die Wärmekapazität wie diese bei einer Fussbodenheizung vorhanden ist, erachten wir als vernachlässigbar für diese Studie, da der Fokus darauf liegt, die monatlichen Energiebedarfswerte von real gemessenen Gebäuden richtig einzuordnen.

2.3.1 Parametervariation

Der Fokus der Parameterstudie liegt auf den wichtigsten drei Einflussfaktoren, die die Nutzenden auf den Energiebedarf eines Gebäudes haben. Diese sind nachfolgend im Detail beschrieben.

Sollraumtemperatur

Für die Raumtemperatur wurden unterschiedliche Sollwerte (T_{sp}) angenommen, wobei vier als fixe Werte definiert wurden und einer als variabler Sollwert. Der variable Sollwert ist von der Durchschnittsaussentemperatur abhängig und wurde aufgrund von Messdaten der Siedlung Horgen ermittelt. Der verwendete Fit für die Definition des variablen Sollwerts (s. Gleichung 1) ist in Abbildung 6 (rot) im Vergleich zu den Messdaten (blau) aufgeführt.

$$T_{sp,1} = 21^{\circ}\text{C}, \quad T_{sp,2} = 22^{\circ}\text{C}, \quad T_{sp,3} = 23^{\circ}\text{C}, \quad T_{sp,4} = 24^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Gl. 1} \quad T_{sp,5} = 26.2^{\circ}\text{C} - 0.403 \cdot T_{amb,30d}$$

wobei $T_{amb,30d}$ die Durchschnittstemperatur der letzten 30 Tage ist (gleitender Mittelwert).

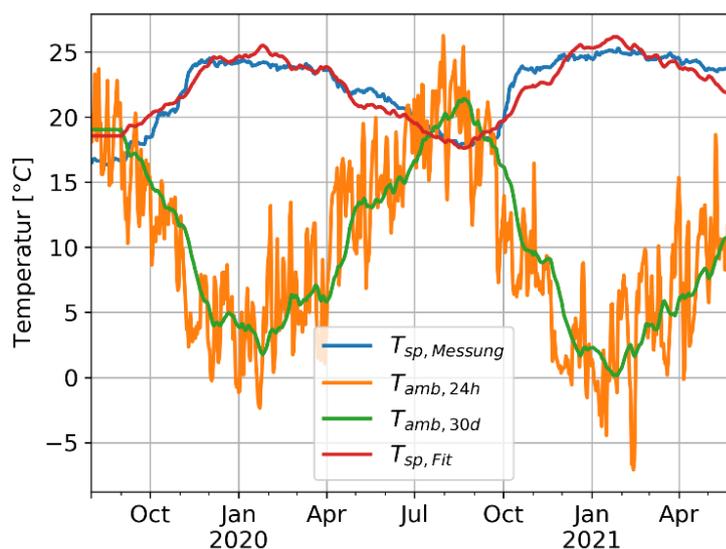


Abbildung 6: Verlauf unterschiedlicher Tagestemperaturen zwischen September 2020 und Mai 2021 für die Häuser HO_A und HO_B. Vergleich der gemessenen Sollraumtemperatur ($T_{sp, Messung}$), der Tagesaussentemperatur ($T_{amb, 24h}$) und dem Sollwert-Fit ($T_{sp, Fit}$) nach Gleichung 1 welcher für die Simulationen verwendet wurde.

Verschattung der Fenster mittels Storen

Die solaren Gewinne über die Fenster werden stark von zwei Faktoren beeinflusst. Zum einen vom Multiplikationsfaktor der Verschattung (f_g) und zum anderen durch die Aktivierung der Storen durch den Bewohner (f_{shd}). Der Multiplikationsfaktor reduziert den g-Wert der Fenster bei aktivierten Storen und ist dabei stark davon abhängig, was für ein Material für die Storen gewählt wurde und wie diese beschaffen sind (Lamellen, Markise etc.). Für die Parameterstudie wurden zwei Faktoren verwendet:

- Starke Verschattung: $f_{g,1} = 0.14$,
- Weniger starke Verschattung: $f_{g,2} = 0.31$

Vier Varianten wurden für die Nutzung respektive Aktivierung der Storen verwendet. Diese sind nachfolgend im Detail beschrieben:

- Verschattung nach SIA 380/1 mit tiefen Raumtemperaturen ($f_{shd,1}$)
 - Verschattung wird aktiviert, wenn beide nachfolgenden Zustände eintreffen:
 - Die Einstrahlung ist grösser als 200 W/m^2
 - Die Raumtemperatur ist grösser als 21 °C
 - Verschattung wird wieder deaktiviert, wenn mindestens einer der nachfolgenden Zustände eintritt:
 - Die Einstrahlung fällt unter 150 W/m^2 ab
 - Die Raumtemperatur ist kleiner als 20 °C
- Verschattung nach SIA 380/1 mit hohen Raumtemperaturen ($f_{shd,2}$)
 - Verschattung wird aktiviert, wenn beide nachfolgenden Zustände eintreffen:
 - Die Einstrahlung ist grösser als 200 W/m^2
 - Die Raumtemperatur ist grösser als 24 °C
 - Verschattung wird wieder deaktiviert, wenn mindestens einer der nachfolgenden Zustände eintritt:
 - Die Einstrahlung fällt unter 150 W/m^2 ab
 - Die Raumtemperatur ist kleiner als 22 °C
- Verschattung in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur mit drei unterschiedlichen Verläufen. Die drei Subvarianten sind in Abbildung 7 dargestellt.
 - Starke Verschattung: $f_{shd,3} = 0.0002 \cdot T_{amb}^2 + 0.0045 \cdot T_{amb} + 0.8248$
 - Mittlere Verschattung: $f_{shd,4} = 0.0003 \cdot T_{amb}^2 + 0.0068 \cdot T_{amb} + 0.6712$
 - Schwache Verschattung: $f_{shd,5} = 0.0005 \cdot T_{amb}^2 + 0.009 \cdot T_{amb} + 0.5176$
- Konstante Verschattung
 - $f_{shd,6} = 60\%$, basierend auf den Messresultate aus Kapitel 3.1.2 (BE_A).

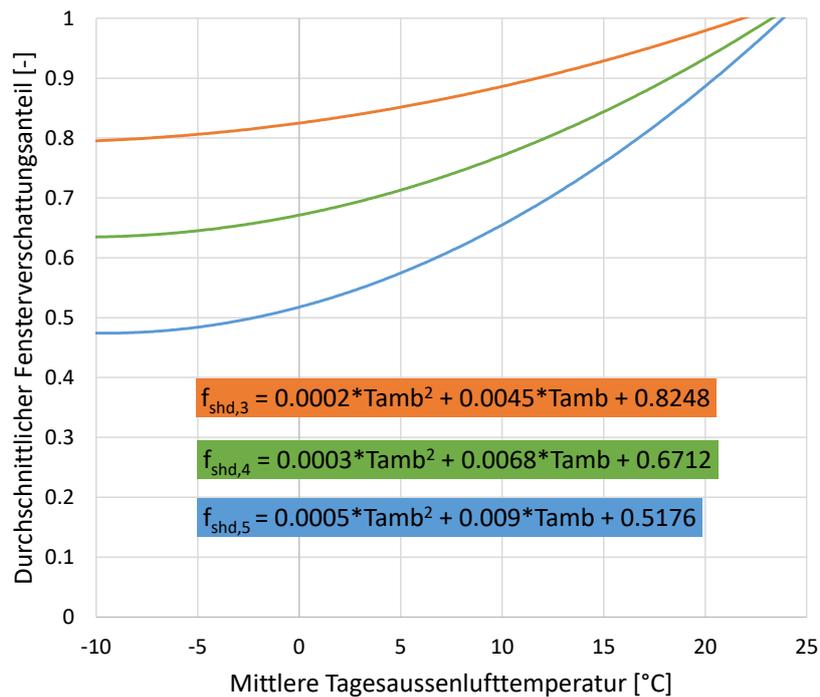


Abbildung 7: Anteil der Fenster mit aktivem Sonnenschutz (Storen) in Abhängigkeit der Aussentemperatur.

Fensterlüftung

Der zusätzliche Luftwechsel über die Fenster in Simulationen hängt im wesentlichen davon ab, welche Methode zur Berechnung des Volumenstromes verwendet wird und wie viele Fenster geöffnet sind, wobei letzteres vom Benutzerverhalten abhängig ist. Für die Berechnung des Volumenstromes wurden die Modelle von Weber et al. [11] und Hall [12] verwendet. Dabei wurde vereinfacht davon ausgegangen, dass ein offenes Fenster einem gekippten Fenster entspricht. Die detaillierte Berechnung des Luftvolumenstroms ist im Bericht zum Referenzgebäude beschrieben [10].

Für die Bestimmung der Anzahl offener Fenster (Fensteröffnungsrate, f_{win}) wurden fünf verschiedene Gleichungen verwendet, welche auf Untersuchungen von Schröder et al. [13] basieren und in Abhängigkeit zur Tagesausenmitteltemperatur (T_{amb}) und den Parametern in Tabelle 4 stehen. Die unterschiedlichen Varianten sind in Abbildung 8 dargestellt.

$$\begin{aligned}f_{win,1} &= a_1 \cdot T_{amb}^4 + b_1 \cdot T_{amb}^3 + c_1 \cdot T_{amb}^2 + d_1 \cdot T_{amb} + e_1 \\f_{win,2} &= a_2 \cdot T_{amb}^4 + b_2 \cdot T_{amb}^3 + c_2 \cdot T_{amb}^2 + d_2 \cdot T_{amb} + e_2 \\f_{win,3} &= \min(0.5, a_3 \cdot T_{amb}^2 + b_3 \cdot T_{amb} + c_3) \\f_{win,4} &= a_4 \cdot T_{amb}^4 + b_4 \cdot T_{amb}^3 + c_4 \cdot T_{amb}^2 + d_4 \cdot T_{amb} + e_4 \\f_{win,5} &= \frac{a_5}{1 + e^{-c_5(T_{amb} - d_5)}} + b_5\end{aligned}$$

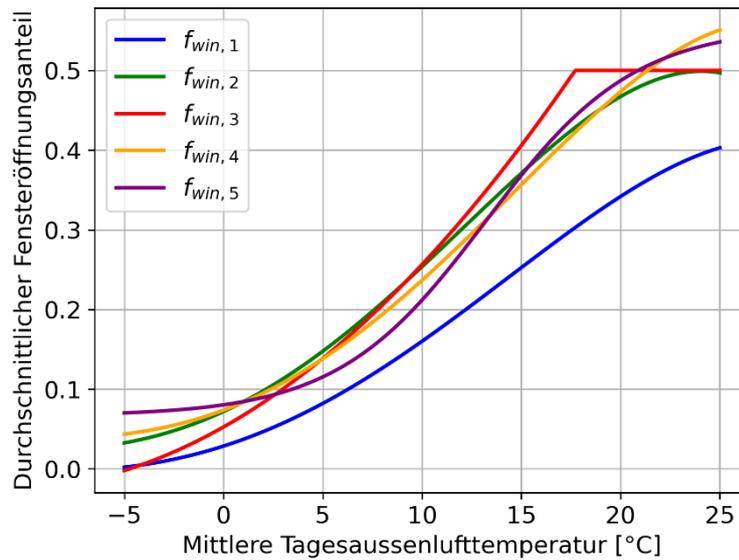


Abbildung 8: Fensteröffnungsrate in Abhängigkeit der Tagesausentemperatur.

Tabelle 4: Parameter zur Berechnung der Fensteröffnungsrate, wobei n den Varianten aus Abbildung 8 entspricht ($n = 1 = f_{win,1}$).

	a_n	b_n	c_n	d_n	e_n
n = 1	-4.99E-07	1.54E-06	5.54E-04	7.96E-03	2.86E-02
n = 2	-8.76E-07	7.77E-07	7.49E-04	1.15E-02	7.19E-02
n = 3	6.32E-04	1.41E-02	5.25E-02		
n = 4	-7.93E-07	7.06E-06	7.11E-04	9.29E-03	7.37E-02
n = 5	-4.89E-01	5.56E-01	-2.68E-01	1.32E+01	

Zusätzlich zu den fünf aussentemperaturabhängigen Varianten wurde für jeden Fall eine Tageszeitabhängigkeit implementiert, welche ebenfalls auf Untersuchungen von Schröder et. al. [13] basiert. Die zeitliche Abhängigkeit ist wie folgt definiert:

- 00 Uhr – 06 Uhr: 71 % der Fensteröffnungsrate
- 06 Uhr – 12 Uhr: 106 % der Fensteröffnungsrate
- 12 Uhr – 18 Uhr: 141 % der Fensteröffnungsrate
- 18 Uhr – 24 Uhr: 82 % der Fensteröffnungsrate



2.3.2 Bewertung mittels Kennzahl

Um die Simulationsergebnisse miteinander zu vergleichen, wurde eine Energiesignatur jeder Simulation basierend auf Monatswerten ermittelt und mit den realen Energiesignaturen der gemessenen Gebäude verglichen. Als entscheidender Faktor wurde dabei der root mean square error (*RMSE*) zwischen dem Fit der Messdaten (f_m) und dem Fit der Simulation (f_s) verwendet. Der *rmse* wird sowohl für den Fit mit den monatlichen Heizwärmeverbrauchsdaten relativ zum Jahresverbrauch als auch für den Fit mit den monatlichen (absoluten) Wärmeverbrauchsdaten relativ zur Energiebezugsfläche ermittelt (spezifischer Heizwärmeverbrauch). Anschliessend werden beide *RMSE* multipliziert und anhand dieses Produktes die besten Kombinationen ermittelt und genauer geprüft, wobei die besten Kombinationen ein möglichst tiefes «*RMSE-Produkt*» aufweist. Der *RMSE* wird dabei wie folgt berechnet:

$$\text{Gl. 2} \quad RMSE(f_m, f_s) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (f_{m,i} - f_{s,i})^2}$$

Wobei n die Anzahl ausgewerteter Punkte im Kurvenabschnitt repräsentiert.

2.4 Umfrage

Ziel war es, komplementär zu den Messungen Wahrnehmungen und Verhaltensweisen der Bewohner/innen der drei Wohnsiedlungen zu erfassen. Dazu führte econcept eine Befragung der Bewohner/innen der Siedlungen ZH, HO und BE durch. Der Fokus lag auf den folgenden Themen:

- Wahrnehmung und Regulierung von Raumtemperatur, Luftfeuchte und Luftqualität in den Wohnungen
- Nutzung von Heizthermostaten, Fenstern und Sonnenstoren

2.4.1 Fragebogenentwicklung

econcept entwickelte den Fragebogen in Zusammenarbeit mit dem SPF. Bei der Fragebogenentwicklung wurde darauf geachtet, dass die Fragebogen in den verschiedenen Siedlungen möglichst identisch sind, damit die Erkenntnisse zwischen den Siedlungen verglichen werden können. Damit möglichst viele Bewohner/innen den Fragebogen ausfüllen, wurde zudem darauf geachtet, dass der Fragebogen möglichst kurz und die Fragen gut verständlich formuliert waren.

Gleichzeitig war eine gewisse Anpassung an die jeweiligen Siedlungen unabdingbar, um den unterschiedlichen Kontexten und den Unterschieden in der Bewohnerschaft gerecht zu werden. Um dies sicherzustellen wurden die Geschäftsstellen bzw. Verwaltungen der Wohnsiedlungen einbezogen. Im Rahmen dieses Einbezugs haben econcept und das SPF auch Anliegen der Geschäftsstellen bzw. Verwaltungen berücksichtigt, beispielsweise Fragen zur Raumtemperatur im Sommer in der Siedlung HO.

Diese Strategie hat dazu geführt, dass die drei Fragebogen nicht komplett identisch sind. Sie sind aber in den wesentlichen Aspekten vergleichbar. Die Fragebogen sind im Annex A dokumentiert.

2.4.2 Datenerhebung

In allen drei Siedlungen arbeitete das Befragungsteam eng mit den Geschäftsstellen und Verwaltungen vor Ort zusammen, um die Bewohner/innen auf die Befragung aufmerksam zu machen, Akzeptanz zu schaffen und damit gute Voraussetzungen für einen hohen Rücklauf zu generieren.

In der Siedlung ZH wurde die Befragung im Januar bis Februar 2019 durchgeführt. Dazu erhielten die Bewohner/innen einen Link per Email zugeschickt. Es wurde ein Reminder verschickt. Haushalte, bei denen keine Email-Adresse verfügbar war, erhielten den Fragebogen per Post.

In der Siedlung HO wurde die Befragung im Januar bis Februar 2020 durchgeführt. Dazu erhielten die Bewohner/innen den Fragebogen per Post, zusammen mit einem vorfrankierten Rückantwortcouvert. Es wurde ein Reminder verschickt.

In der Siedlung BE wurde im gleichen Zeitrahmen und mit dem gleichen Verfahren befragt wie in der Siedlung HO.



3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Fensteröffnung und Fensterverschattung

Der Versuch, über eine neue Methode mittels thermografischer und fotografischer Aufnahmen das Nutzerverhalten zu erfassen, ist im Rahmen dieses Projektes nur teilweise gelungen. Viele Aufnahmen konnten in der Auswertung nicht berücksichtigt werden oder waren gar nicht erst vorhanden. Zum einen hatte dies technische Gründe. So sind etwa die CAT-Smartphones immer wieder ausgefallen oder hat deren Wärmebildkamera teilweise unbrauchbare Aufnahmen geliefert. Zum anderen sind auch Geräte durch Dritte entwendet oder manipuliert worden. Erschwerend für das Projekt war zudem, dass die Winter 19/20 und 20/21 überdurchschnittlich warm waren, und somit wenig Messpunkte für ganz kalte Tage vorhanden waren. In den nachfolgenden zwei Kapiteln werden die detaillierten Resultate zur Fensteröffnung und Fensterverschattung präsentiert.

3.1.1 Fensteröffnung

Mit der gewählten Bildanalysemethode gelang es leider nicht, die offenen Fenster mit einer angemessenen Genauigkeit zu identifizieren. Wie bereits in Abschnitt 2.2 erwähnt, konnten die offenen Fenster in den Thermografieaufnahmen der Gebäude in Horgen (HO_A und HO_B) nicht eindeutig ermittelt werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Sicht durch halb heruntergezogene Storen oder durch Balkone vor den Fenstern behindert wurde und insbesondere die Fensteröffnungen nach Sonnenuntergang nicht über die fotografischen Aufnahmen geprüft werden konnten. Zwei Beispiele sind in Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt.

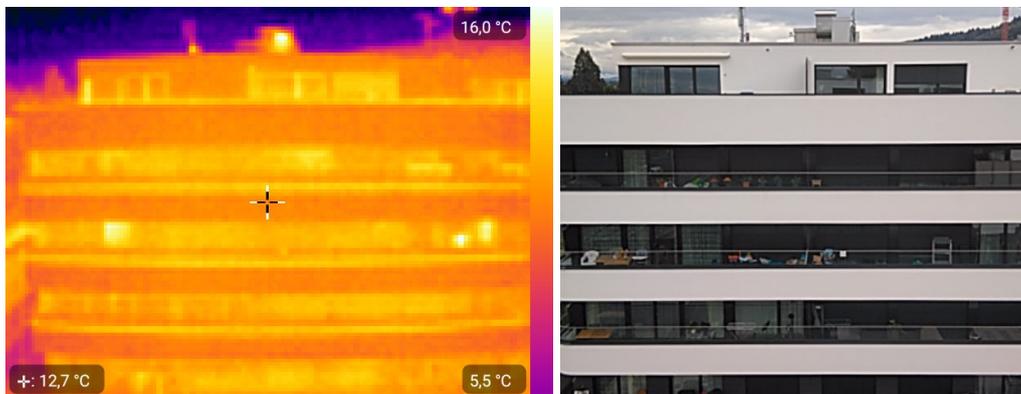


Abbildung 9: Thermografische und fotografische Aufnahme zum gleichen Zeitpunkt für eine Fassadenseite mit Balkonen. Dabei ist ersichtlich, dass die Verglasung der Balkone die Auswertung der Thermografieaufnahmen erschwert und die Auflösung, um eine visuelle Überprüfung zu machen zu gering ist.

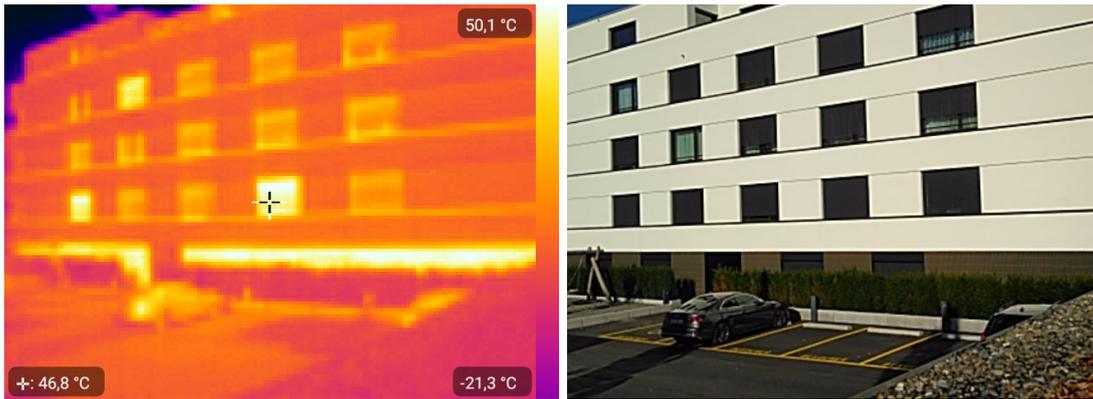


Abbildung 10: Thermografische und fotografische Aufnahme zum gleichen Zeitpunkt für eine Fassadenseite mit aktiven Sonnenstoren und vermeintlich offenem Fenster bei hoher Solareinstrahlung (unterste Fensterreihe, zweites Fenster von rechts).

Für die Gebäude ZH_A, ZH_B und BE_A funktionierte die Methode zwar deutlich besser, und es konnten Fensteröffnungen teilweise automatisch identifiziert werden. Viele offene Fenster wurden jedoch nicht erkannt. Andere wiederum wurden fälschlicherweise als offen eingestuft (Abbildung 11). Darüber hinaus konnten die Fenster, die nicht als offen erkannt wurden, nicht eindeutig als geschlossen eingestuft werden. Dies liegt daran, dass ein geschlossenes Fenster einem Fenster mit einem nicht eindeutigen Status sehr ähnlich ist. Die Kameras haben zudem auch oft fehlerhafte thermografische Bilder aufgenommen (Abbildung 12). Solche Bilder wurden so gut als möglich aussortiert. Bei Bildern dieser Art, welche im Datensatz verbleiben, werden alle Fenster als geschlossen angesehen, obwohl deren Status eigentlich nicht bekannt ist, was die Fensteröffnungsrate zu gering ausfallen lässt.

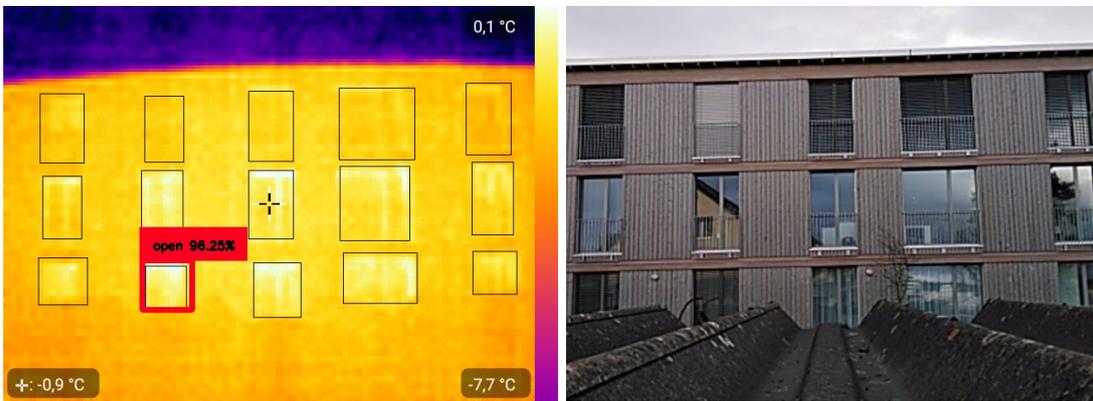


Abbildung 11: Thermografische und fotografische Aufnahme zum gleichen Zeitpunkt für eine Fassadenseite mit vermeintlich offenem Fenster (rote Markierung).

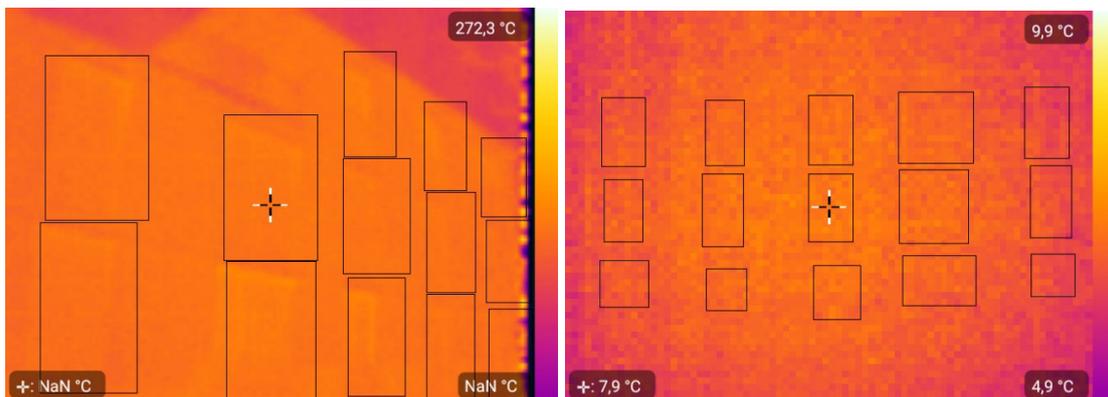


Abbildung 12: Fehlerhafte Anzeige von zwei Thermografieaufnahmen von zwei verschiedenen CATs.



Bei den Gebäuden der Siedlung ZH wurden einige Fenster sowohl mit einem Kontaktsensor, als auch über die Wärmebildkamera erfasst. Ein Vergleich der Resultate der beiden Methoden ist in Abbildung 13 dargestellt. Er zeigt deutlich, dass die Bildanalysemethode in der dargestellten Zeitperiode mehrere Öffnungsvorgänge nicht erkennt.

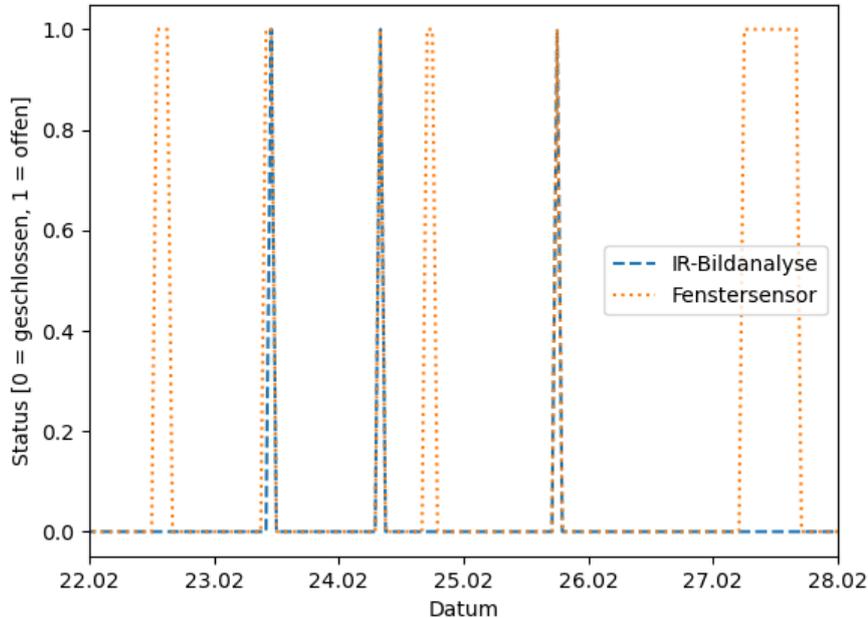


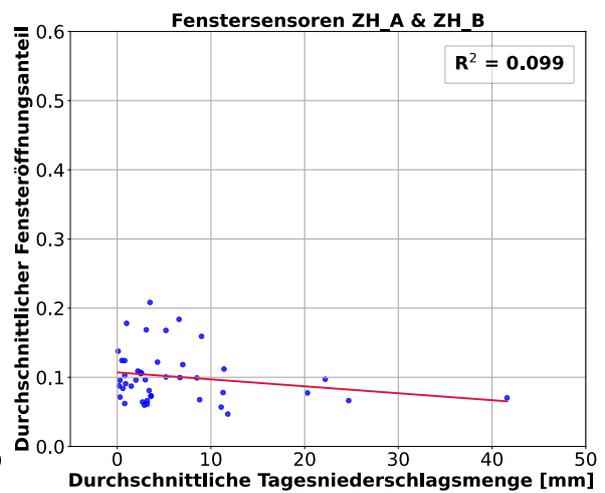
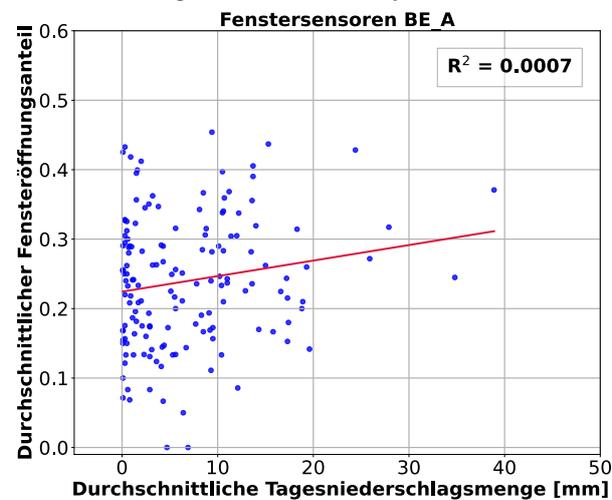
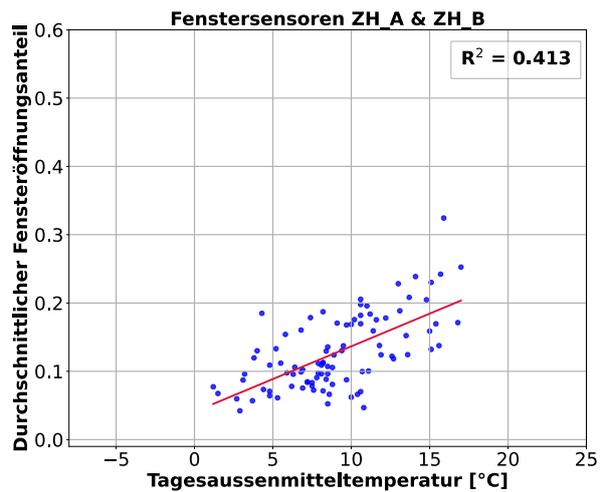
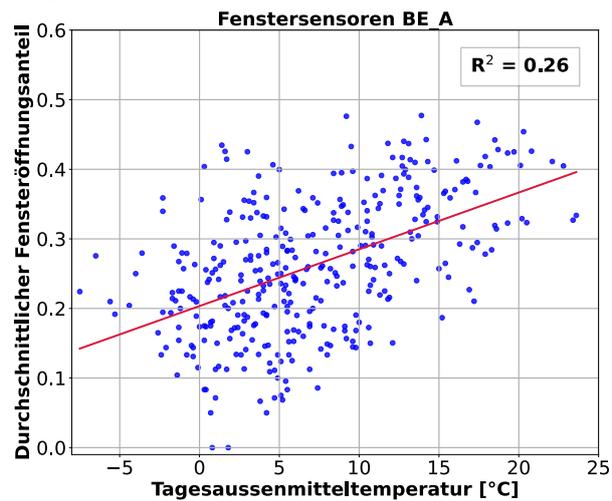
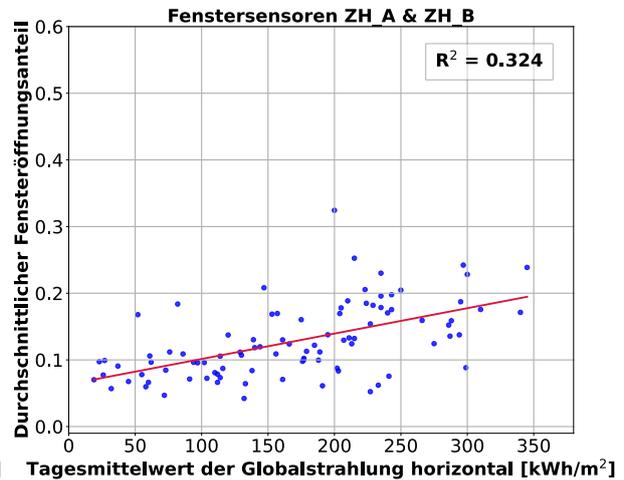
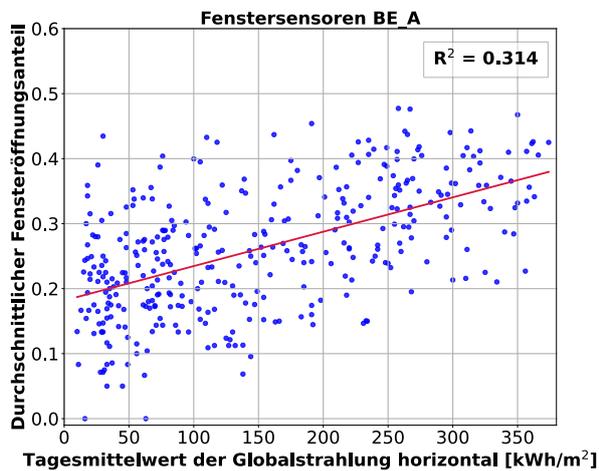
Abbildung 13: Vergleich für ein Beispielfenster von Gebäude ZH_A zwischen den Resultaten der Bildanalyse und eines Kontaktsensors für die Zeitperiode vom 22.2. bis zum 28.2.2019.

Aufgrund der letztlich nur sehr unzuverlässigen Erfassung der Fensteröffnungen musste also die auf Thermografieaufnahmen gestützte Methode in der vorliegenden Studie verworfen werden und wurden für die Analyse des Fensteröffnungsverhaltens nur die Messungen mittels Fenstersensoren in den Gebäuden BE_A, ZH_A und ZH_B berücksichtigt. Diese Fenstersensoren waren nur an Fenstern angebracht, von denen die Bewohner angaben, dass sie diese regelmässig öffnen. Deshalb sind die absoluten Werte für die Fensteröffnungsanteile, basierend auf diesen Fenstern, nicht repräsentativ für alle Fenster des jeweiligen Gebäudes und fallen höher aus. Die ermittelte Abhängigkeit der Fensteröffnungsanteile von den verschiedenen Umgebungsparametern jedoch kann als repräsentativ für alle Fenster angesehen werden.

Abbildung 14 zeigt die täglichen Fensteröffnungsanteile in Abhängigkeit verschiedener Wetterparameter für die mit Kontaktsensoren ausgestatteten Fenster in den Siedlungen BE (6 Sensoren) und ZH (18 Sensoren). Dabei ist zu beachten, dass die Messperiode für Zürich kürzer ist als für die anderen Standorte (s. Tabelle 3), was zu weniger Tageswerten in den Diagrammen für ZH_A und ZH_B führt. Der tägliche Fensteröffnungsanteil steigt mit der mittleren täglichen Globalstrahlung und der mittleren Umgebungstemperatur. Die relative Luftfeuchtigkeit hat einen geringeren Einfluss. Ein schwacher Trend ist jedoch sichtbar, nämlich nimmt die Fensteröffnungsrate mit zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit ab ($R^2 \approx 0,1$). Mit der Niederschlagsmenge hingegen scheint das Fensteröffnungsverhalten der Bewohner nicht zusammenzuhängen ($R^2 \approx 0$).

Am stärksten korreliert der Fensteröffnungsanteil mit der mittleren täglichen Umgebungstemperatur. Die relativ niedrigen Werte der Bestimmtheitsmaße (R^2) zeigen jedoch, wie zu erwarten war, dass der Fensteröffnungsanteil auch stark von anderen Einflüssen abhängt. Dass die Streuung im Fall von Bern grösser ist und damit auch das Bestimmtheitsmass kleiner, ist zu einem grossen Teil der geringen Anzahl Sensoren

geschuldet. Im Weiteren ist der Zusammenhang mit der Aussentemperatur insbesondere bei tiefen Aussentemperaturen nicht linear. Das entspricht den Erwartungen. Es kann nämlich davon ausgegangen werden, dass der Zusammenhang ungefähr einer Sigmoid-Kurve folgt, d.h. dass der Öffnungsanteil sich bei tiefen und bei hohen Temperaturen jeweils einer konstanten Asymptote annähert.



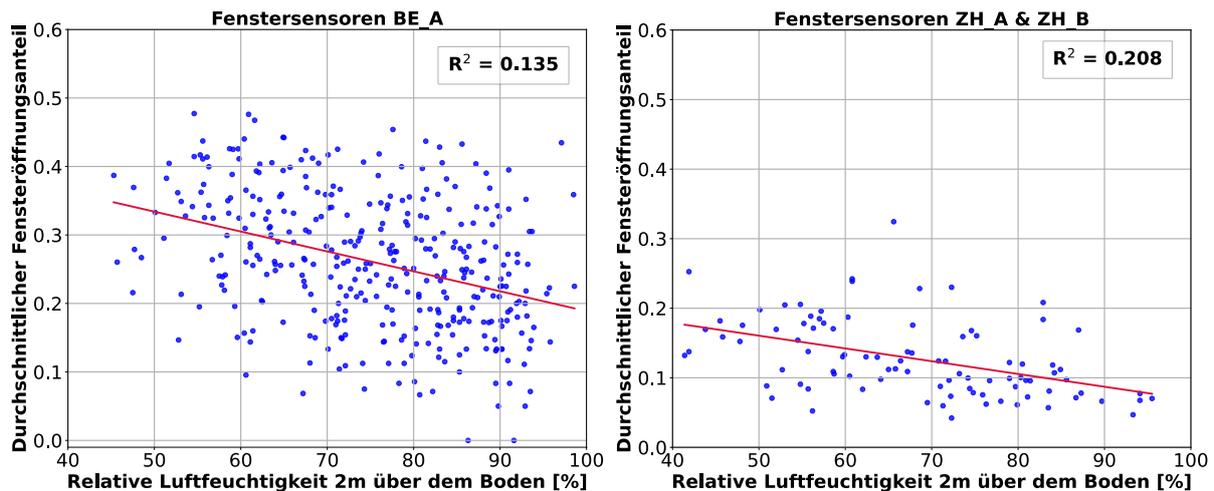


Abbildung 14: Tägliche Fensteröffnungsanteile der Gebäude BE_A, ZH_A und ZH_B dargestellt in Abhängigkeit von der täglichen mittleren Globalstrahlung, der mittleren Aussenlufttemperatur, der Niederschlagsmenge und der relativen Luftfeuchtigkeit. Zusätzlich ist eine lineare Regressionsgerade und das Bestimmtheitsmass (R^2) angegeben.

Die Form des Zusammenhangs zwischen dem Fensteröffnungsanteil und der Aussenlufttemperatur kommt etwas besser zum Vorschein, wenn man einen gleitenden Mittelwert (gemittelt jeweils über ein Temperaturintervall von 2 K) betrachtet (Abbildung 15). Hier sieht man, dass der gleitende Durchschnitt des täglichen Fensteröffnungsanteils bei höheren mittleren Aussenlufttemperaturen ansteigt, und dass dieser Anstieg ab Aussenlufttemperaturen von 5-10 °C, insbesondere am Standort Zürich, noch zunimmt. Bei tiefen Umgebungstemperaturen sind die Durchschnittswerte bei beiden Standorten ähnlich. Bei hohen Umgebungstemperaturen sind die Werte des Gebäudes in Bern deutlich geringer. Es ist zu beachten, dass in Bern nur eine sehr kleine Anzahl Sensoren verbaut wurde, dass also hohe oder tiefe Werte auch eine Partikularität der kleinen Stichprobe sein können. Ein ähnliches Ergebnis haben Schröder et. al. [13] in einer umfangreichen Messkampagne ermittelt (s. Abbildung 16). Bei niedrigen Aussenlufttemperaturen sind die Resultate im Mittel sehr ähnlich. Bei höheren Aussenlufttemperaturen ergaben sich in jener Studie deutlich höhere Werte für die Fensteröffnungsanteile, wobei in diesem Projekt nur wenig Messwerte bei höheren Aussenlufttemperaturen zur Verfügung standen, und die Resultate bei den höheren Temperaturen deshalb wenig robust sind. Was die Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur betrifft, so ist also das Fensteröffnungsverhalten der Gebäude in Zürich, und in etwas kleinerem Mass auch des Gebäudes in Bern, demjenigen aus der erwähnten Studie ähnlich. Da in Zürich und Bern jedoch nur regelmässig genutzte Fenster mit Sensoren ausgestattet waren, muss davon ausgegangen werden, dass die Fensteröffnungsanteile über die kompletten Gebäude betrachtet deutlich geringer sind, und somit auch deutlich geringer als die Werte in der Studie von Schröder et al. [13].

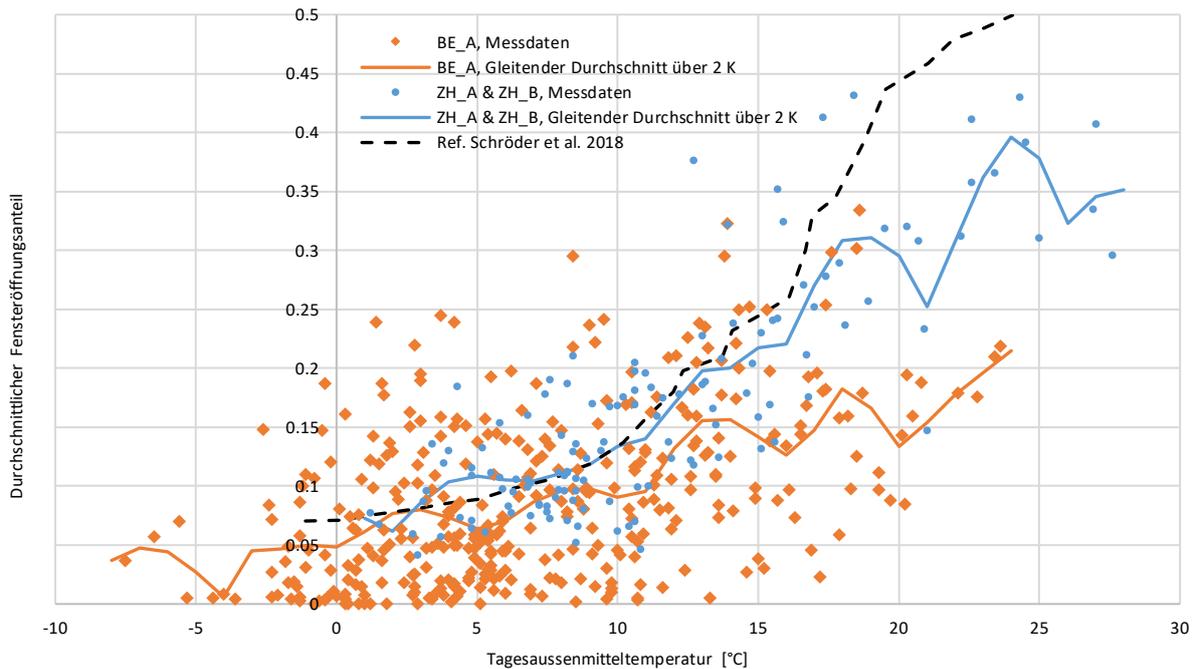


Abbildung 15: Tägliche Fensteröffnungsanteile gemessen mit den Kontaktsensoren für die Gebäude in Bern (BE_A) und Zürich (ZH_A und ZH_B), dargestellt in Abhängigkeit der täglichen mittleren Aussenlufttemperatur (ohne Sommermonate). Zusätzlich dargestellt ist jeweils der gleitende Mittelwert, berechnet über jeweils 2 K an Stützstellen entsprechend ganzzahligen Gradwerten. Die schwarz gestrichelte Linie wiedergibt ungefähr die Resultate aus [13] (siehe Abbildung 16).

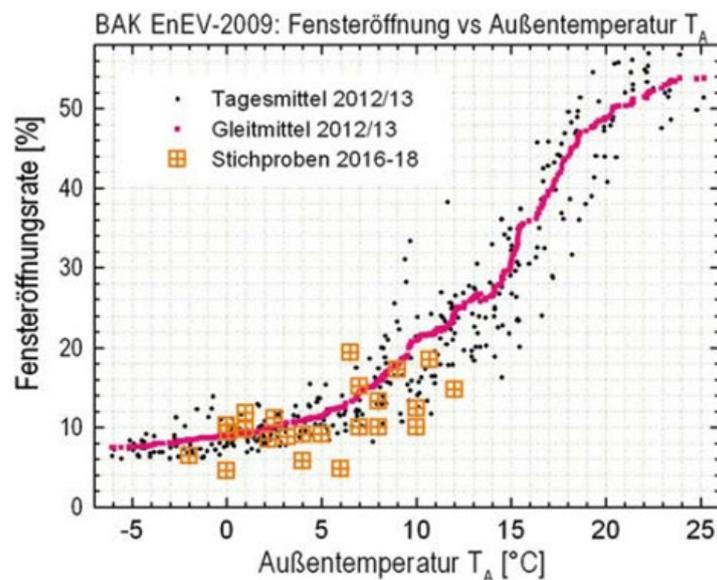


Abbildung 16: Fensteröffnungsrate in Funktion der mittleren Tagesausenlufttemperatur für ein Wohngebäude in Deutschland [13].

Die Ergebnisse zum Fensteröffnungsverhalten basierend auf den Messungen mit den insgesamt 24 installierten Kontaktsensoren können wie folgt zusammengefasst werden:

- Von den Umgebungsvariablen hat die Aussentemperatur klar den stärksten Einfluss auf den Fensteröffnungsanteil eines Gebäudes. Die Tagesausenmitteltemperatur eignet sich deshalb gut als Parameter für die Abschätzung des täglichen Fensteröffnungsanteils.



- Im Mittel verhielten sich die Fensteröffnungsanteile beim Gebäude BE_A recht ähnlich wie bei ZH_A und ZH_B. Die Streuung der Werte war im Fall von Bern deutlich grösser, was auf die geringe Anzahl an Sensoren zurückzuführen sein wird.
- In einem Temperaturbereich etwa von 0 °C bis 15 °C ergab sich hier ein sehr ähnlicher Zusammenhang zwischen Fensteröffnungsanteil und Tagesaussermitteltemperatur wie in der Studie von Schröder et. al. [13].
- Da im vorliegenden Projekt nur ausgewählte genutzte Fenster analysiert werden konnten, ist davon auszugehen, dass die absoluten Werte der Fensteröffnungsanteile der hier untersuchten Gebäude deutlich geringer sind als in der Studie von Schröder et. al. [13]. Dies könnte auf Unterschiede der Gebäude und einen entsprechend unterschiedlichen Lüftungsbedarf zurückzuführen sein.

3.1.2 Fensterverschattung durch Storen

Die durchschnittlichen täglichen Fensterverschattungsanteile in Abhängigkeit der verschiedenen Umgebungsvariablen sind in Abbildung 17, Abbildung 18, Abbildung 20 und Abbildung 21 dargestellt. Es zeigt sich, wie im Fall der Fensteröffnungsanteile, dass die Aussentemperatur die Variation der Fensterverschattung am besten erklären kann. Die Stärke dieses Zusammenhangs ist jedoch bei den verschiedenen Gebäuden recht unterschiedlich. Das Bestimmtheitsmass ist bei BE_A mit 0.051 sehr tief, was darauf schliessen lässt, dass das Nutzerverhalten wenig von der Aussentemperatur abhängig ist. Im Gegensatz dazu weist HO_A mit ein R^2 von 0.484 eine starke Abhängigkeit auf, es ist ein deutlicher Anstieg der Verschattungsrate mit zunehmender Aussenlufttemperatur feststellbar. Diese grossen Unterschiede können verschiedene Gründe haben:

- Die Lage des Gebäudes: Häufig wird die Verschattung auch als Sichtschutz verwendet, falls beispielsweise die Privatsphäre durch ein Nachbargebäude beeinträchtigt ist. Strassenlampen oder andere Lichtquellen können dazu führen, dass die Storen in der Nacht gesenkt werden und Tagsüber nicht mehr hochgefahren werden.
- Fenstergeometrie und Position: Die Lage und die Grösse der Fenster könnten eine Rolle spielen bei der Nutzung von Storen. Grosse Schiebefenster die zum Balkon oder Sitzplatz führen, werden wahrscheinlich seltener verschattet da ansonsten der Zugang zum Aussenraum beeinträchtigt ist. Bei raumhohen Fenstern mit einer Bedienung der Storen über eine Handkurbel werden diese vermutlich seltener ganz hoch- oder runtergefahren.
- Lichtverhältnisse und Blendung: Die Gestaltung der Räume entscheidet darüber, ob diese eher hell oder dunkel sind (Raumtiefe) und ob es zu Blendung kommt. Dies könnte einen Einfluss auf der Benutzerverhalten haben.

Im Rahmen dieser Studie konnten diese möglichen Gründe nicht im Detail untersucht werden, da die Anzahl an untersuchten Gebäuden zu gering war, um statistisch signifikante Aussagen zu machen.

Es ist auch zu beobachten, dass die Verschattungsanteile der Fenster in HO_B höher sind als in HO_A, obwohl die Gebäude bezüglich der Raumaufteilung, des Aufbaus und der Ausrichtung sehr ähnlich sind. Noch stärker ist dieser Effekt, wenn man die Verschattung in Abhängigkeit der Fassadenorientierung vergleicht (Abbildung 24 und Abbildung 25), weitere Erläuterungen dazu folgen später im Bericht. Ein klarer, jedoch schwächerer Zusammenhang besteht auch mit der Solarstrahlung. Der Zusammenhang mit der Luftfeuchtigkeit ist nochmals deutlich schwächer, während die Niederschlagsmenge die Variation der Fensterverschattungsanteile gar nicht erklären kann.

Die Abhängigkeit des Fensterverschattungsanteils von der Aussentemperatur ist nicht ganz linear, und deren Form kann auch hier besser sichtbar gemacht werden mit Hilfe eines gleitenden Mittelwertes (Abbildung 18).

Generell bestätigen die hier gezeigten Resultate die Erwartungen aufgrund der Literaturstudie, jedoch ist überraschend wie hoch der Verschattungsgrad für die Gebäude HO_A und HO_B gerade im Winter ist. Damit wird ein Grossteil des solaren Potenzials für die passive Heizung nicht genutzt.

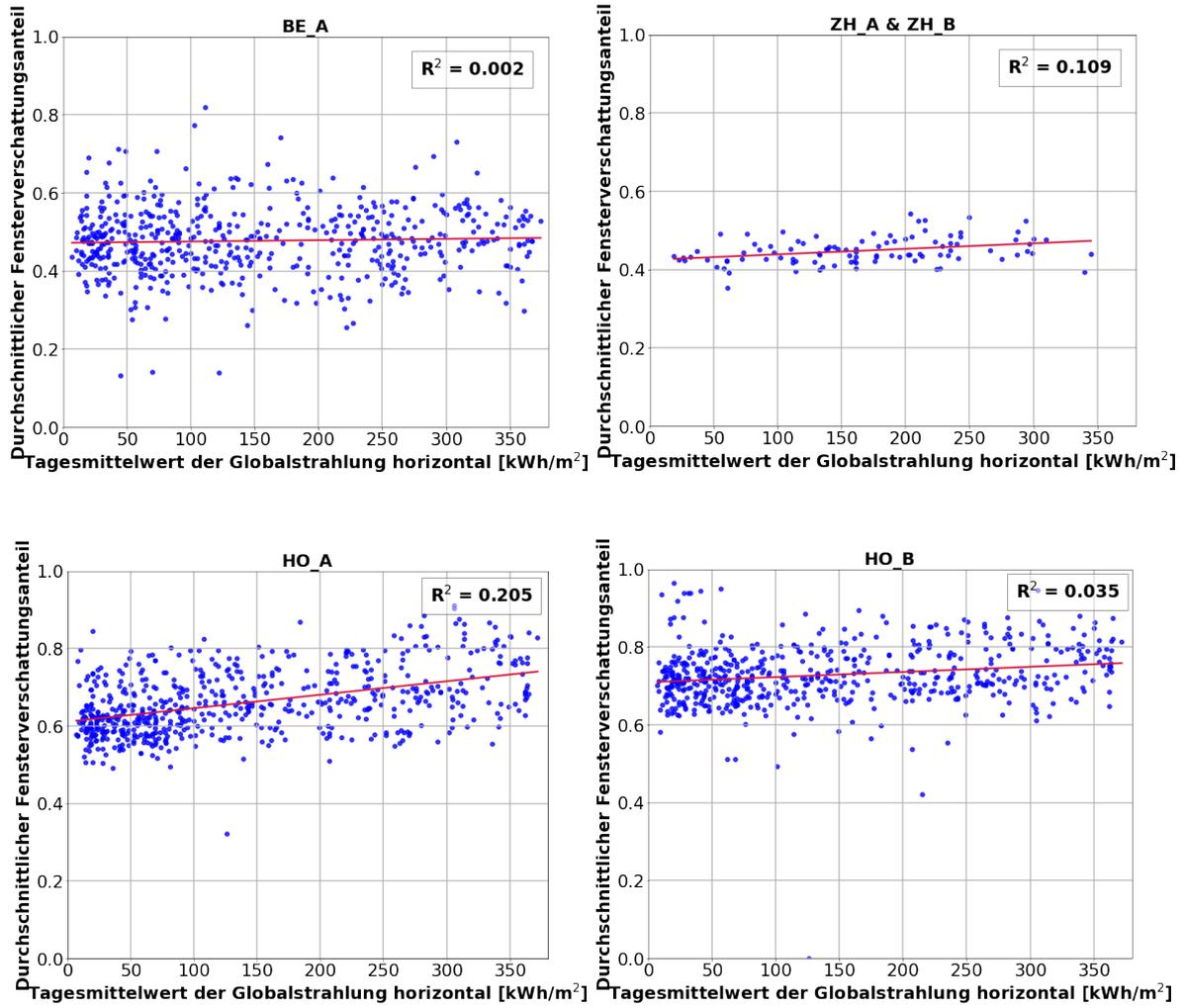


Abbildung 17: Tägliche Fensterverschattungsanteile der Gebäude in Bern (BE_A), Horgen (HO_A und HO_B) und Zürich (ZH_A und ZH_B), dargestellt in Abhängigkeit von der mittleren täglichen Globalstrahlung. Zusätzlich wird eine lineare Regressionsgerade und das Bestimmtheitsmaß R^2 angegeben.

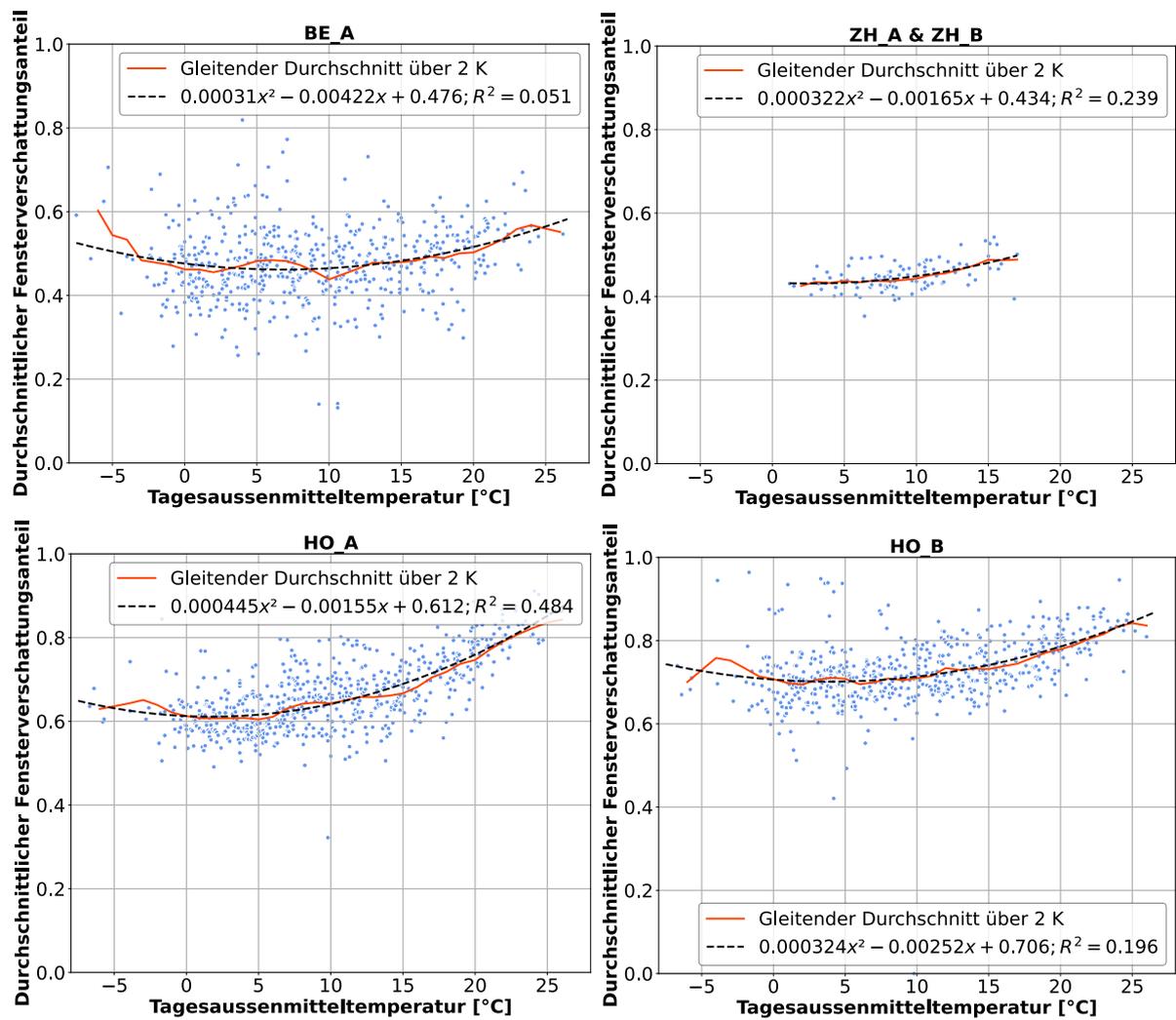


Abbildung 18: Tägliche Fensterverschattungsanteile der Gebäude in Bern (BE_A), Horgen (HO_A und HO_B) und Zürich (ZH_A und ZH_B), dargestellt in Abhängigkeit von der mittleren Tagesaussentemperatur. Zusätzlich wird eine lokal gewichtete lineare Regressionsgerade angegeben.

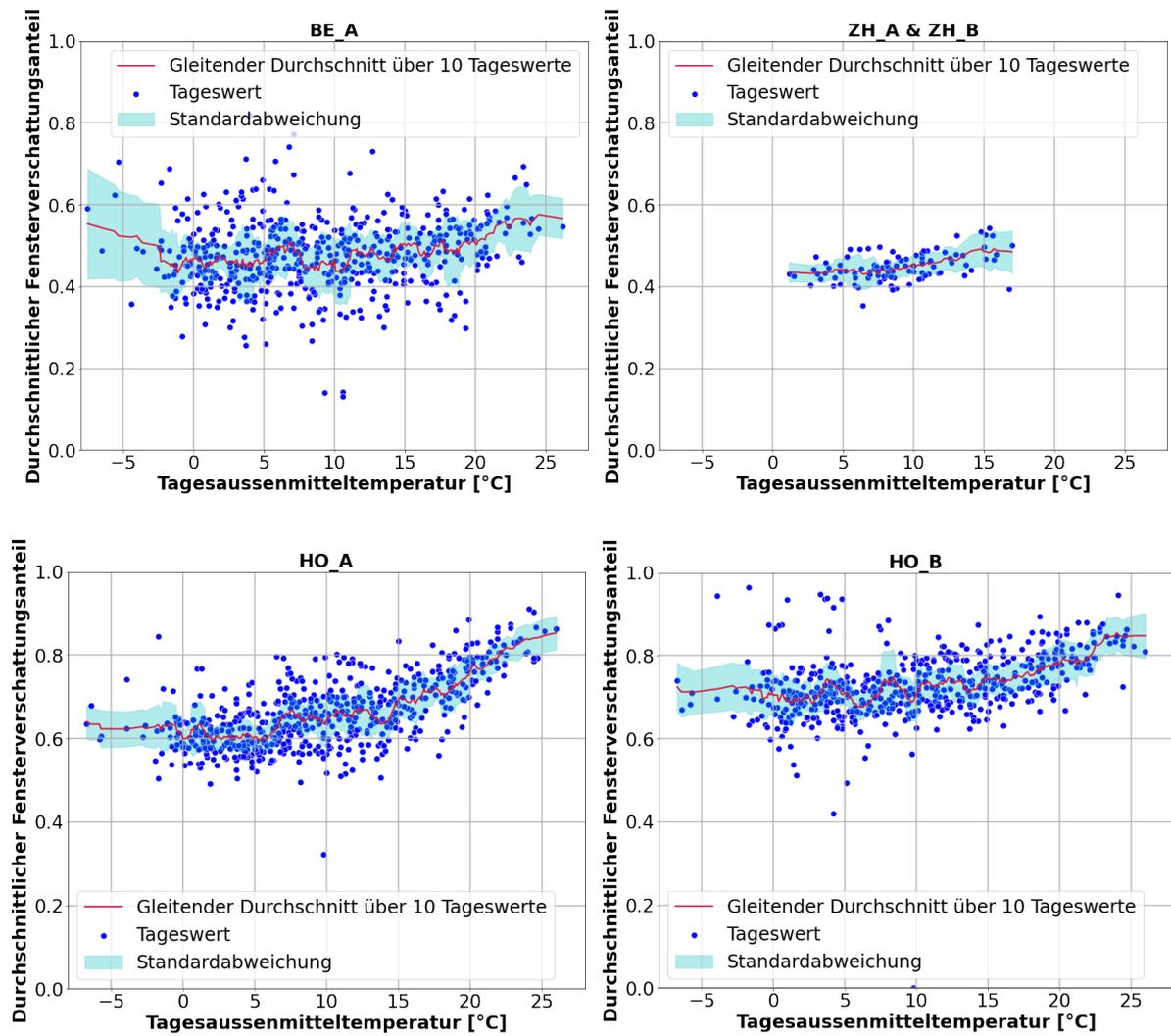


Abbildung 19: Tägliche Fensterverschattungsanteile als gleitender 10-Tagesmittelwerte und die gleitende Standardabweichung für die Gebäude in Bern (BE_A), Horgen (HO_A und HO_B) und Zürich (ZH_A und ZH_B), dargestellt in Abhängigkeit von der mittleren Tagesaussentemperatur.

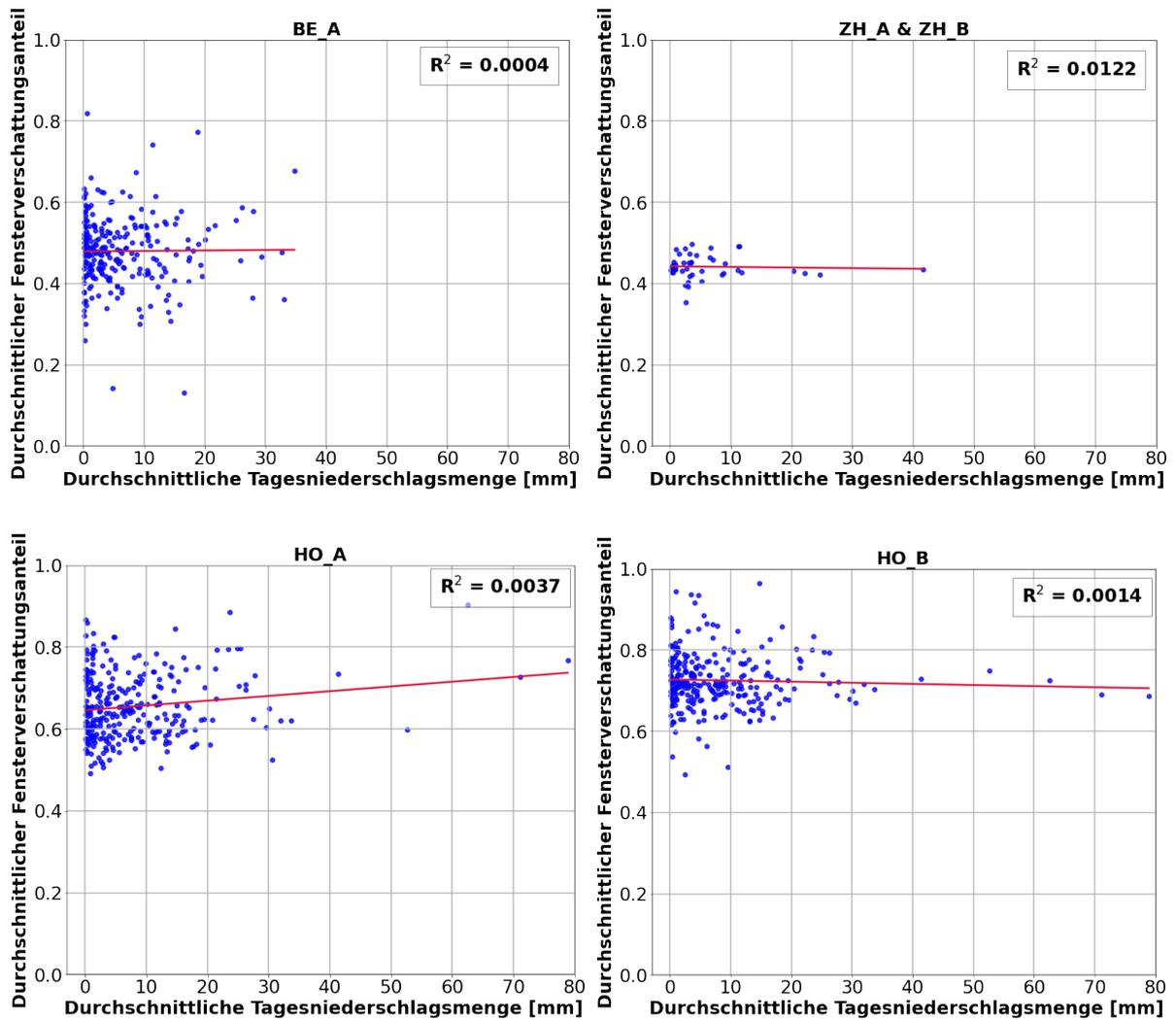


Abbildung 20: Tägliche Fensterverschattungsanteile der Gebäude in Bern (BE_A), Horgen (HO_A und HO_B) und Zürich (ZH_A und ZH_B) in Funktion des durchschnittlichen Tagesniederschlags. Zusätzlich sind jeweils eine lineare Regressionsgerade und das Bestimmtheitsmass R^2 angegeben.

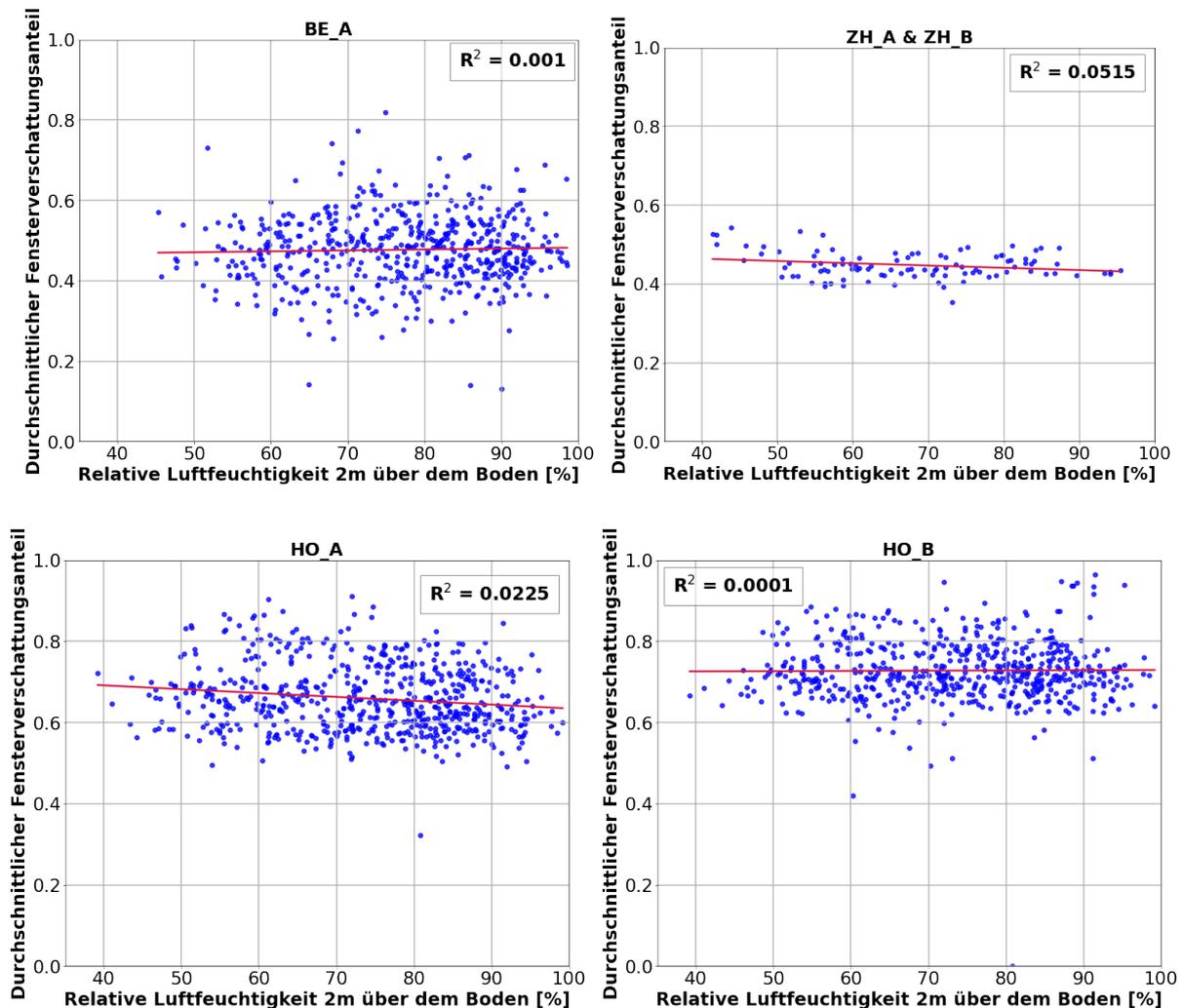


Abbildung 21: Tägliche Fensterverschattungsanteile der Gebäude in Bern (BE_A), Horgen (HO_A und HO_B) und Zürich (ZH_A und ZH_B), dargestellt in Funktion der relativen Luftfeuchtigkeit. Zusätzlich ist eine lineare Regressionsgerade und das Bestimmtheitsmass R^2 angegeben.

Als nächstes wurde eine mögliche Abhängigkeit des Verschattungsverhaltens von der Ausrichtung der Fassade untersucht. Abbildung 22 zeigt die monatlich aggregierten täglichen Verschattungsanteile der Fenster in Abhängigkeit der Ausrichtung der Gebäudefassaden, die von den Kameras für die Gebäude in Bern, Horgen und Zürich erfasst wurden.

Beim Gebäude in Bern (BE_A) gab es zwei Kameras, die die Südost-Fassade erfassten, und eine Kamera, die die Nordwest-Fassade erfasste. Hinter beiden Fassaden liegen ähnliche Raumtypen, hauptsächlich Schlafzimmer und Küchenbereiche. Die nach Südosten ausgerichteten Fenster haben einen höheren Verschattungsanteil als die nach Nordwesten ausgerichteten. Die Auswertung der einzelnen Fassaden zeigt keine Saisonalität auf wie dies bei der Auswertung aller Fassaden zusammen ersichtlich ist. Die Kamera, die die Nordwestfassade erfasst, hat im Zeitraum 08.10.2020 - 06.01.2020 und in den Monaten Juni und Juli keine Bilder aufgenommen. Die Bilder, die im Zeitraum 15.09.2020 - 05.10.2020 aufgenommen wurden, waren komplett unbrauchbar (Beispiel: Abbildung 23) und konnten daher nicht ausgewertet werden. Für den Monat Oktober lagen also nur für drei Tage Daten vor. Auch im November trugen nur drei Tage zu den Ergebnissen bei. Aus diesem Grund sind die Resultate für diese beiden Monate für die Nordwestfassade nicht aufgeführt.

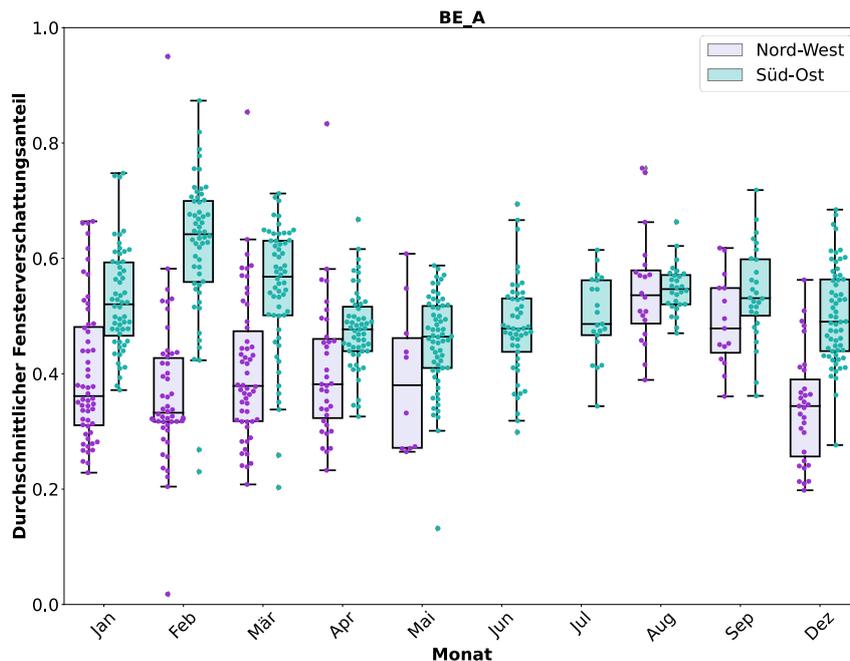


Abbildung 22: Tägliche Fensterverschattungsanteile des Gebäudes in Bern (BE_A) dargestellt in Funktion der Fassadenorientierung für die Messperiode zwischen 01.11.2019 und 30.06.2021. Die Monate Oktober und November wurden aufgrund grösserer Messdatenausfällen nicht berücksichtigt.



Abbildung 23: Beispiel einer unbrauchbaren Aufnahme der Nord-West Fassade für das Gebäude BE_A.

Die Fassaden der Gebäude in Horgen konnten im Gegensatz zu Bern alle erfasst werden, wobei auch hier vor allem Datenausfälle im Sommer vorherrschten. Da in dieser Studie nur die Heizperiode untersucht wurde, wurde zum Teil darauf verzichtet die Geräte in den Sommermonaten wieder in Betrieb zu nehmen. Die Bewohnerinnen und Bewohner der beiden Gebäude in Horgen (HO_A und HO_B) weisen in Bezug auf ihr Fensterbeschattungsverhalten wenig Ähnlichkeiten auf (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25). In beiden Fällen ist eine Saisonalität gut erkennbar. So sind die Verschattungsanteile in den Sommermonaten deutlich höher. Bei HO_A ist die Verschattungsrate für die Fenster der Nord-, Süd- und Westfassaden ähnlich, in HO_B ist jedoch ein deutlicher Unterschied zwischen den Fassaden zu beobachten. Zu den an die Nord- und Südfassade angrenzenden Räumen gehören in beiden Gebäuden Küchen, Wohn- und Schlafräume. Der Verschattungsgrad der Fenster an den Nordfassaden ist bei HO_A und HO_B ähnlich, und der Interquartilsbereich zeigt, dass die Fenster in der Regel über das ganze Jahr zu 60 - 80% verschattet sind. Die Fenster in der Südfassade haben jedoch bei HO_B einen höheren Verschattungsanteil als bei HO_A. An den Ost- und



Westfassaden befinden sich bei HO_A nur Wohnräume, während bei HO_B auch Küchen und Schlafzimmer in diese Richtungen ausgerichtet sind. Dies könnte den höheren Verschattungsgrad der Fenster der Westfassade von HO_B gegenüber HO_A erklären, da Schlafzimmer im Vergleich zu Wohnzimmern eher verschattet werden. Die Verschattungsanteile an den nach Osten ausgerichteten Fenstern sind bei HO_A überraschend niedrig. Obwohl hier geringere Werte erwartet werden können, da die Fenster nur zu Wohnräumen gehören, sind diese Werte viel niedriger als bei den nach Westen ausgerichteten Fenstern (ebenfalls mit nur Wohnräumen). Es ist interessant, zu beobachten, dass die Ostfassaden auch bei HO_B, obschon in geringerem Mass, die niedrigsten Verschattungswerte aufweisen. Die Gründe für die an diesem Standort geringen Verschattungsanteile an den Ostfassaden sind anhand der vorhandenen Informationen nicht auszumachen.

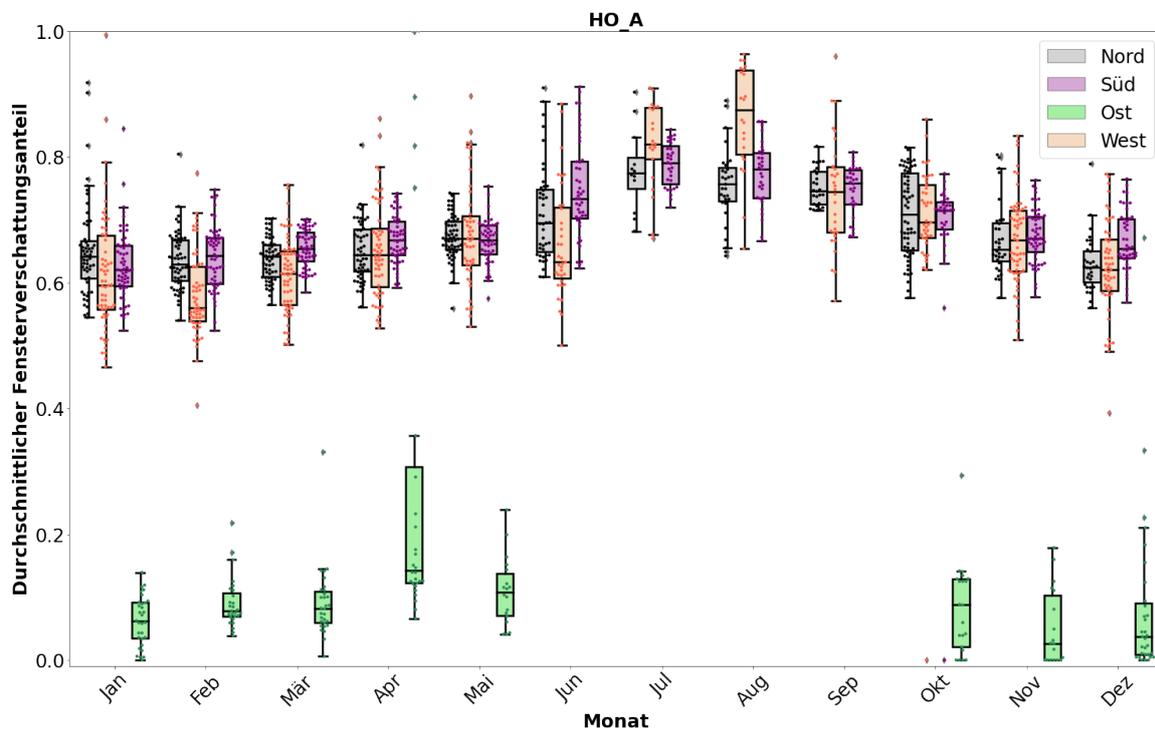


Abbildung 24: Tägliche Fensterverschattungsanteile des Gebäudes in Bern (BE_A) dargestellt in Funktion der Fassadenorientierung für die Messperiode zwischen 01.10.2019 und 30.06.2021.

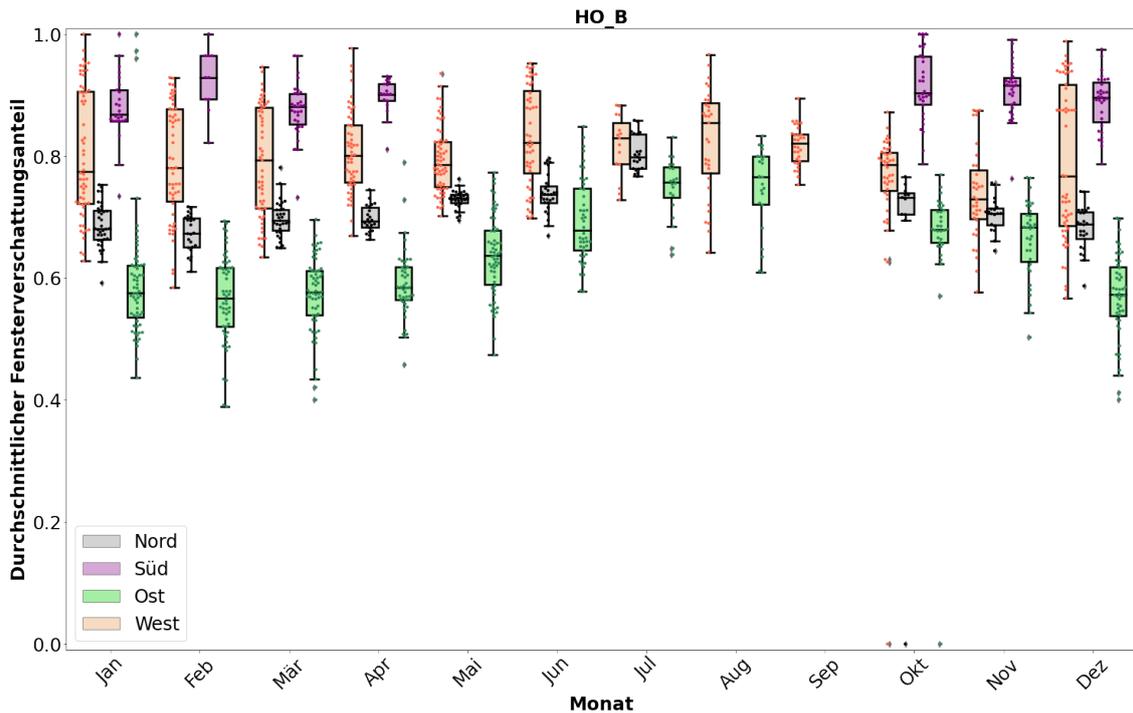


Abbildung 25: Tägliche Fenstererschattungsanteile des Gebäudes in Bern (BE_A) dargestellt in Funktion der Fassadenorientierung für die Messperiode zwischen 01.10.2019 und 30.06.2021.

In der Siedlung in Zürich können die meisten Fenster der Ost- und Südfassade den Schlafzimmern zugeordnet werden. Dies könnte eine Erklärung für die höheren Verschattungswerte für diese Fassaden im Vergleich zu den Westfassaden sein, die auch Wohnräume und Küchen enthalten (siehe Abbildung 26).

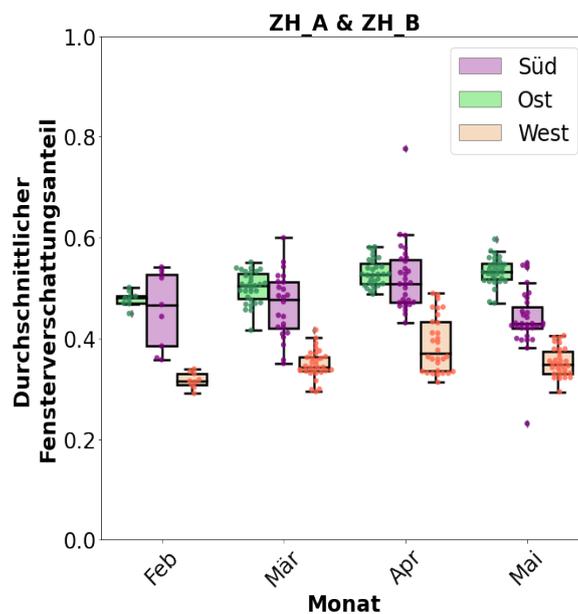


Abbildung 26: Tägliche Fenstererschattungsanteile der Gebäude in Zürich (ZH_A & ZH_B) dargestellt in Funktion der Fassadenorientierung für die Messperiode Februar 2019 bis Mai 2019.



Vergleicht man die Verschattungsanteile an den drei Standorten, so sind diese in Horgen deutlich höher als in Zürich und Bern. Ein einheitlicher Zusammenhang zwischen dem Verschattungsanteil und der Fassadenorientierung konnte nicht gefunden werden. Zum Teil weisen baugleiche Gebäude sehr unterschiedliche Verhaltensmuster auf. Die Gründe konnten im Rahmen dieser Studie nicht ermittelt werden, da die Befragung der Bewohnerinnen und Bewohner vor der Auswertung der Aufnahmen stattgefunden hat.

Zusammenfassend können aus der Analyse der Fensterverschattungsdaten folgende Punkte festgehalten werden:

- Die Tagesaussentemperatur eignet sich dafür, einen grossen Teil der Variation des Fensterverschattungsanteils (gemittelt über ein Gebäude) zu erklären.
- Im betrachteten Temperaturbereich kann der Zusammenhang gut mit einem quadratischen Polynom angenähert werden.
- Es gab bei den untersuchten Gebäuden keinen einheitlichen Zusammenhang zwischen dem Fensteröffnungsverhalten und der Ausrichtung der Fassade.

3.2 Raumtemperaturen und Heizwärmebedarf

3.2.1 Raumtemperatur

Die gemessenen Raumtemperaturen an den verschiedenen Standorten sind in Abbildung 27 (Komfortsensoren) und Abbildung 28 (gebäudeseitig erfasste Werte) dargestellt. Betrachtet man die Werte der Komfortsensoren, so liegen in den Wintermonaten die Medianwerte über alle Wohnungen in Zürich deutlich über 23 °C. In Horgen liegen sie etwas tiefer, aber immer deutlich über 22 °C. Im Fall von Bern (jedoch mit einer sehr kleinen Anzahl Wohnungen) liegen die Medianwerte teilweise leicht unter 22 °C. Die Streuung der Raumtemperaturen liegt im Bereich von 2 - 4 Kelvin. Festzustellen ist im Weiteren, dass im Fall von Zürich die Temperaturen von Februar bis Mai kaum ansteigen, während an den anderen Standorten eine gewisse Saisonalität vorhanden ist (siehe auch Abbildung 6).

Die in Horgen und Bern gebäudeseitig gemessenen Werte (Abbildung 28) sind höher als die Werte der Komfortsensoren. Der Unterschied liegt im Bereich von 1 K. Dies gilt nicht nur für den Durchschnitt, sondern ebenfalls, wenn einzelne Wohnungen betrachtet werden. Der Grund für die Abweichung ist nicht bekannt, aber eine Vermutung ist, dass es sich hier um einen systematischen Messfehler handelt.

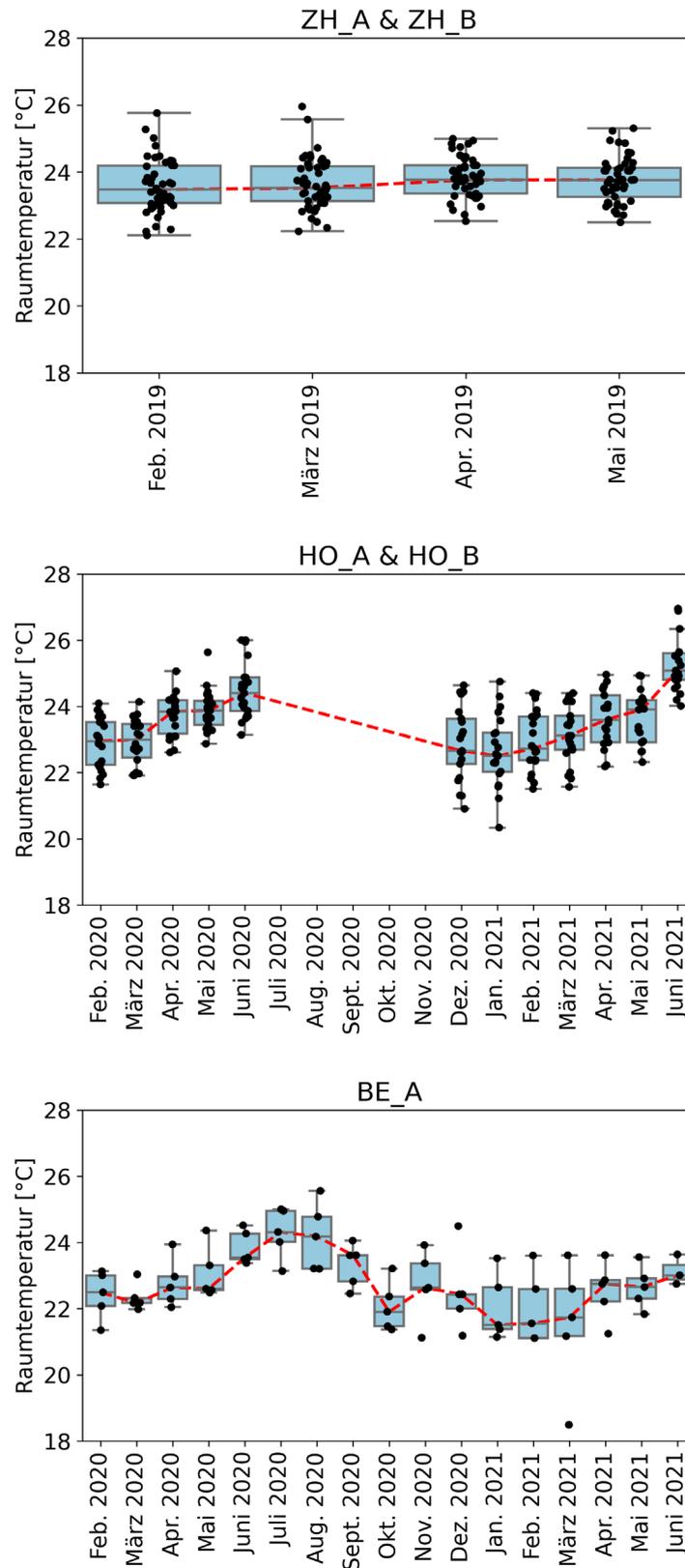


Abbildung 27: Raumtemperaturen gemessen mit den zusätzlich installierten Komfortsensoren für alle drei Siedlungen. Die Punkte entsprechen den Monatsmittelwerten einzelner Wohnungen. Die gestrichelte rote Linie verbindet jeweils die monatlichen Median-Werte aller Sensoren.

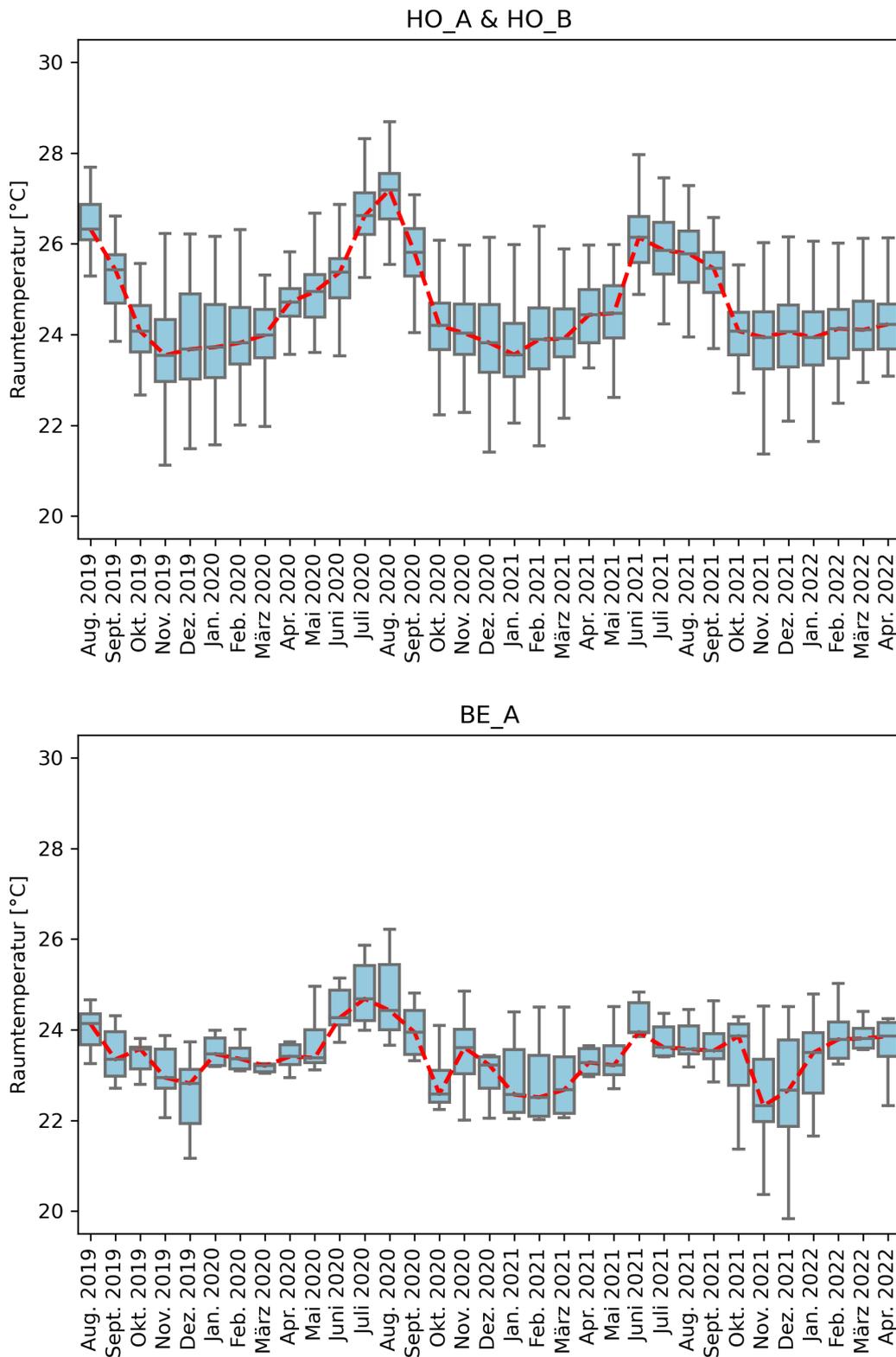


Abbildung 28 : Raumtemperaturen gemessen mit den vorinstallierten Sensoren (Belimo) des Heizungssystems für die Siedlungen in Horgen und Bern. Dargestellt ist die Verteilung der Werte aller Wohnungen. Die Werte der einzelnen Wohnungen sind hier aufgrund der grossen Anzahl nicht dargestellt. Die gestrichelte rote Linie verbindet jeweils die monatlichen Median-Werte aller Wohnungen.

3.2.2 Sollraumtemperatur

Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigen die Monatswerte der Sollraumtemperaturen, die an den Standorten Horgen und Bern von den Bewohnern eingestellt wurden. Im Fall von Horgen sind die Werte aufgeteilt in Wohnungen im Erdgeschoss (Unten), solche im Dachgeschoss (Oben), und solche dazwischen (Mitte).

Im Fall von Horgen (Abbildung 28) ist zu sehen, dass in den Sommermonaten in vielen Wohnungen die Solltemperatur auf einen tiefen Wert gestellt wird. Gründe dafür können sein, dass die Bewohner die Heizung ausschalten wollen, oder eventuell auch davon ausgehen, dass die Wohnung gekühlt werden kann (was nicht der Fall ist). In den Wintermonaten liegen die Sollwerte in der Regel deutlich über 20 °C. Bei den Wohnungen im Erdgeschoss (unten) scheint es eine Häufung von sehr hohen Sollwerten (>25 °C) zu geben. Obwohl die Anzahl Wohnungen für eine definitive Aussage zu gering ist, so könnte das darauf hinweisen, dass in diesen Wohnungen die von den Bewohnern gewünschte Raumtemperatur nicht erreicht wird. In den mittleren Wohnungen kommen in den Wintermonaten mehr tiefe und sehr tiefe Sollwerte vor als in Erd- und Dachgeschosswohnungen (oben). Dies weist darauf hin, dass diese Wohnungen eine höhere Raumtemperatur als gewünscht aufweisen. In manchen Wohnungen bleibt der Sollwert über lange Zeitperioden konstant bei 30 °C oder bei 12 °C. Es kann sich dabei um nicht belegte Wohnungen handeln, oder aber um Bewohnerinnen und Bewohner, deren Komfort unter- bzw. überbedient wird. Eine solche grosse Differenz zwischen den Wohnungen würde grundsätzlich zur Schlussfolgerung führen, dass kein hydraulischer Abgleich durchgeführt wurde. Nach Rücksprache mit den für die Umsetzung verantwortlichen Unternehmen, muss man davon ausgehen, dass es nicht am hydraulischen Abgleich liegt.

Im Fall von Bern ist die Wohnungsanzahl zu gering, um Unterschiede zwischen den Stockwerken zu untersuchen. Wie im Fall von Horgen, werden auch hier im Sommer teilweise die Solltemperaturen herabgesetzt. Im Gegensatz zu Horgen, ist hier zwar ein Free-Cooling über die Erdsonde möglich. Dennoch liegen aber auch hier die eingestellten Solltemperaturen deutlich unter realistischere gewünschten oder erreichbaren Raumtemperaturen. Die winterlichen Solltemperaturen liegen wie im Fall von Horgen deutlich über 20 °C. Die Streuung ist jedoch deutlich geringer (was teilweise auch der geringen Anzahl Wohnungen geschuldet sein kann), und es kommen in diesem Fall keine extrem hohen und tiefen Werte vor. Dies kann darauf hinweisen, dass die Komfortanforderungen der Bewohner hier gut erfüllt sind.

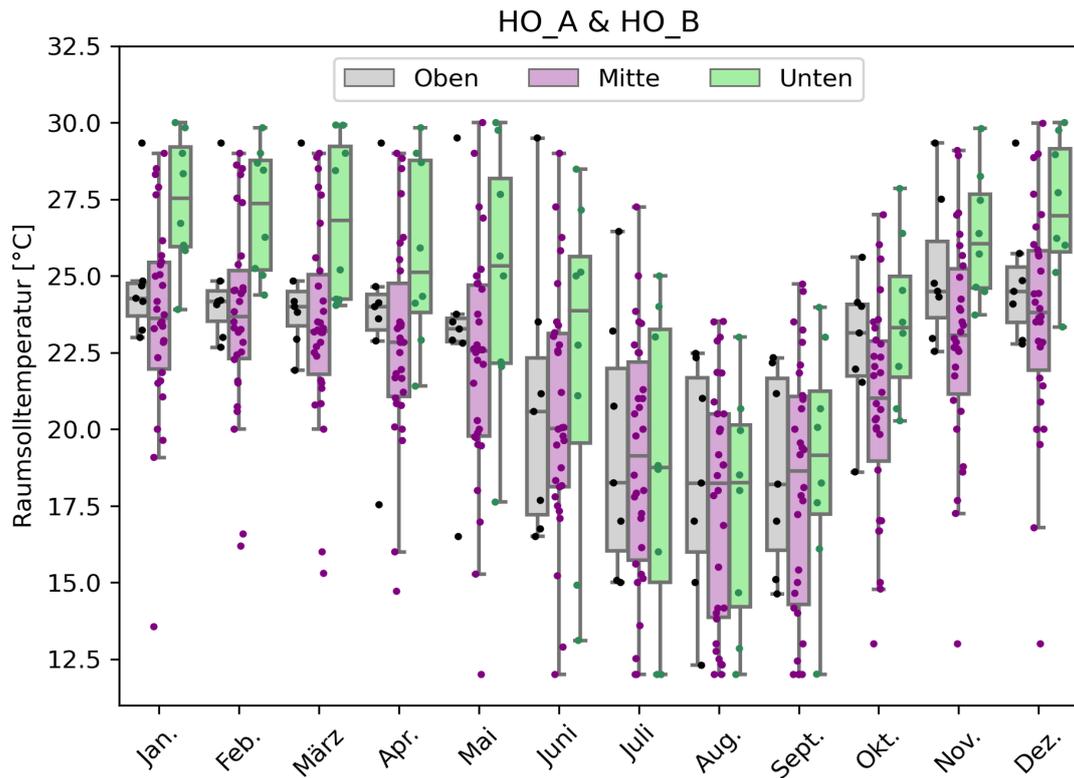


Abbildung 29: Sollwert-Einstellung der Bewohner der Siedlung Horgen (46 Wohnungen). Die Messperiode reicht von August 2019 bis April 2022. Die Monatswerte sind jeweils über die Werte der entsprechenden Monate aller Jahre gemittelt. Die Punkte entsprechen den einzelnen Wohnungen im untersten, mittleren bzw. obersten Geschoss (Attika).

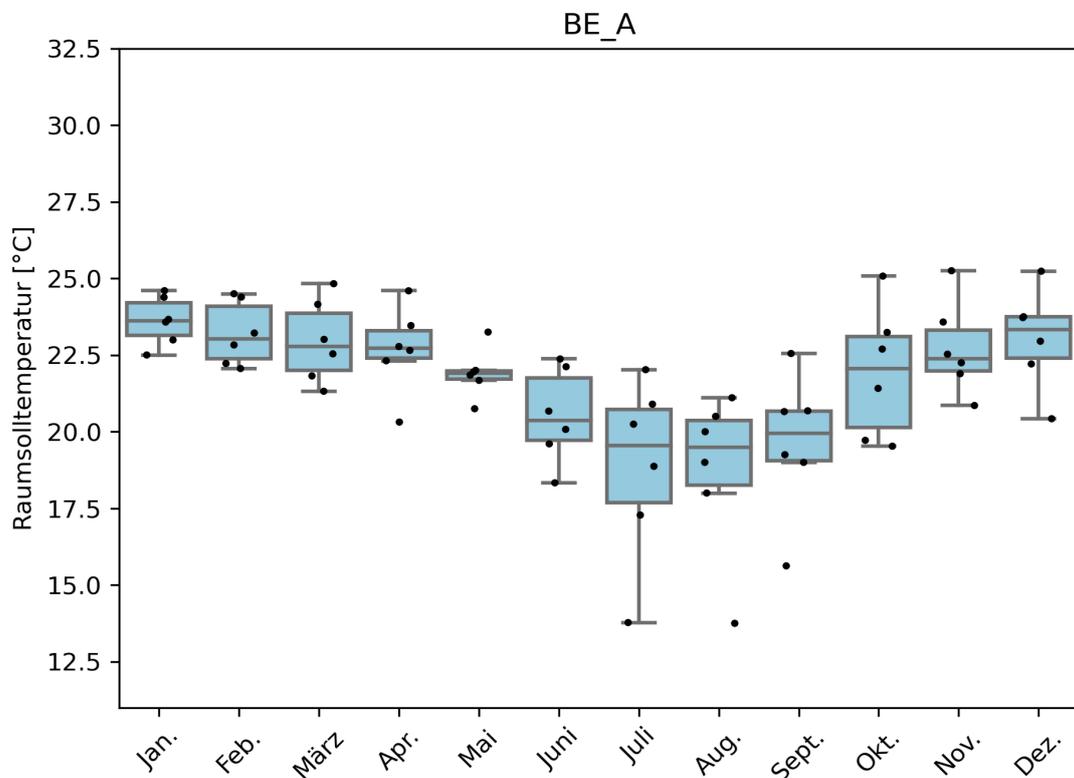


Abbildung 30: Sollwert-Einstellung der Bewohner der Siedlung Bern (6 Wohnungen). Die Messperiode reicht von August 2019 bis April 2022. Die Monatswerte sind jeweils über die Werte der entsprechenden Monate aller Jahre gemittelt. Die Punkte entsprechen den einzelnen Wohnungen.

3.2.3 Differenz zwischen Sollraumtemperatur und effektiven Raumtemperatur

Die Differenzen zwischen der Sollraumtemperatur und der effektiven Raumtemperatur in den Wintermonaten, dargestellt in Abbildung 31 und Abbildung 32, bestätigen die anhand der Solltemperaturen gemachten Vermutungen. Im Mittel liegen die Raumtemperaturen, wie erwartet werden kann, sehr nahe bei den Solltemperaturen.

Im Fall von Horgen (Abbildung 30) ist bei den mittleren Wohnungen sowie den Wohnungen im Dachgeschoss nur ein kleiner Anteil der Werte negativ, entsprechend einer Raumtemperatur unterhalb der Solltemperatur. Bei den Erdgeschosswohnungen ist dieser Anteil grösser, es wird also hier bei einem grösseren Anteil der Wohnungen die eingestellte Solltemperatur nicht erreicht (jedoch ist die kleine Anzahl Wohnungen zu beachten). Wohnungen, bei denen die Raumtemperatur deutlich über der Solltemperatur liegt, kommen praktisch nur in den mittleren Geschossen vor. Dies weist darauf hin, dass diese Wohnungen Wärmegewinne von Nachbarwohnungen erfahren, und gleichzeitig aufgrund ihrer Position geringe Wärmeverluste an die Umgebung haben. Bei einzelnen Wohnungen in den mittleren Geschossen, ist die Heizung gar komplett ausgeschaltet (siehe dazu auch Abbildung 33).

Im Fall von Bern liegen die Abweichungen von der Solltemperatur in den meisten Fällen in einem engen Bereich von ca. ± 1 K. Solche Abweichungen liegen im Bereich der Messunsicherheiten. Ausnahme bildet eine Wohnung, bei der teilweise über längere Zeit Sollwerte im Bereich von 30 °C eingestellt waren. In solchen Phasen wird dort der Sollwert nicht erreicht, was in deutlich negativen Werten bei der Differenz zwischen Ist- und Sollwert resultiert. In der Regel sind jedoch beim Gebäude in Bern die Unterschiede zwischen Ist- und Sollraumtemperaturen in den Wintermonaten nicht relevant. Die Komfortanforderungen der Bewohner werden also hier während der Heizsaison sehr gut erfüllt.

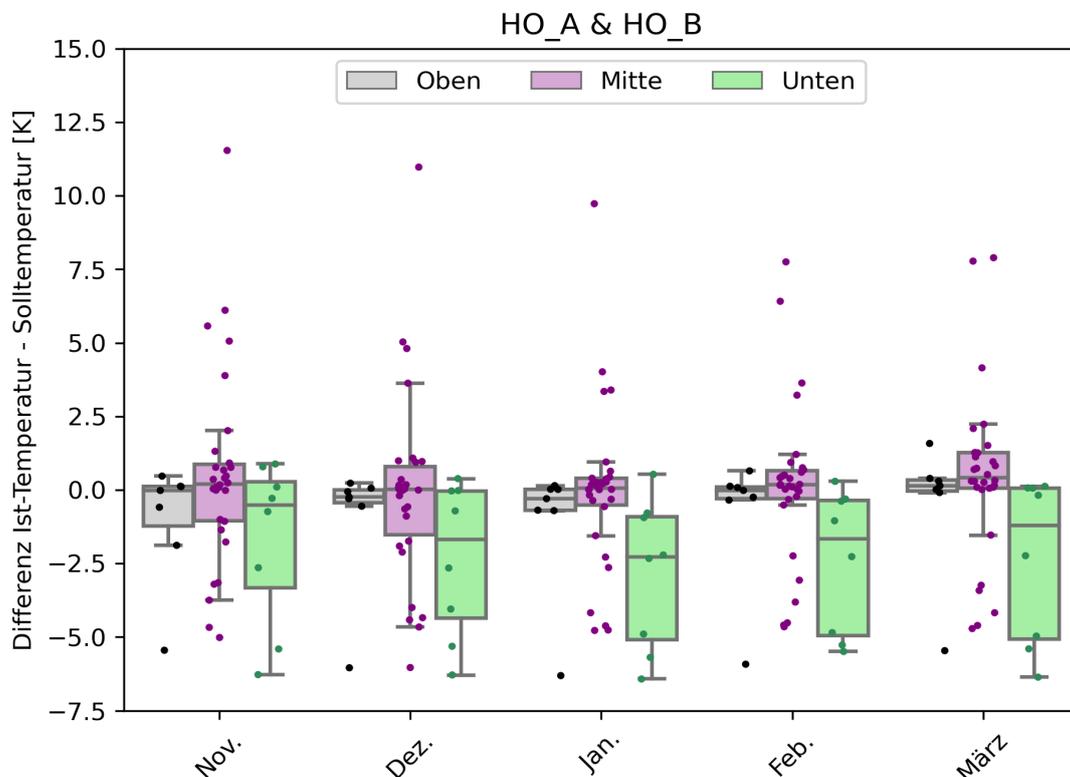


Abbildung 31: Differenz zwischen Ist- und Sollwert der Raumtemperatur für die Siedlung Horgen (46 Wohnungen). Die Messperiode beinhaltet die Winter 2019/20, 2020/21 und 2021/22. Die Monatswerte sind jeweils über die Werte der entsprechenden Monate aller Jahre gemittelt. Die Punkte entsprechen den einzelnen Wohnungen im untersten, mittleren bzw. obersten Geschoss.

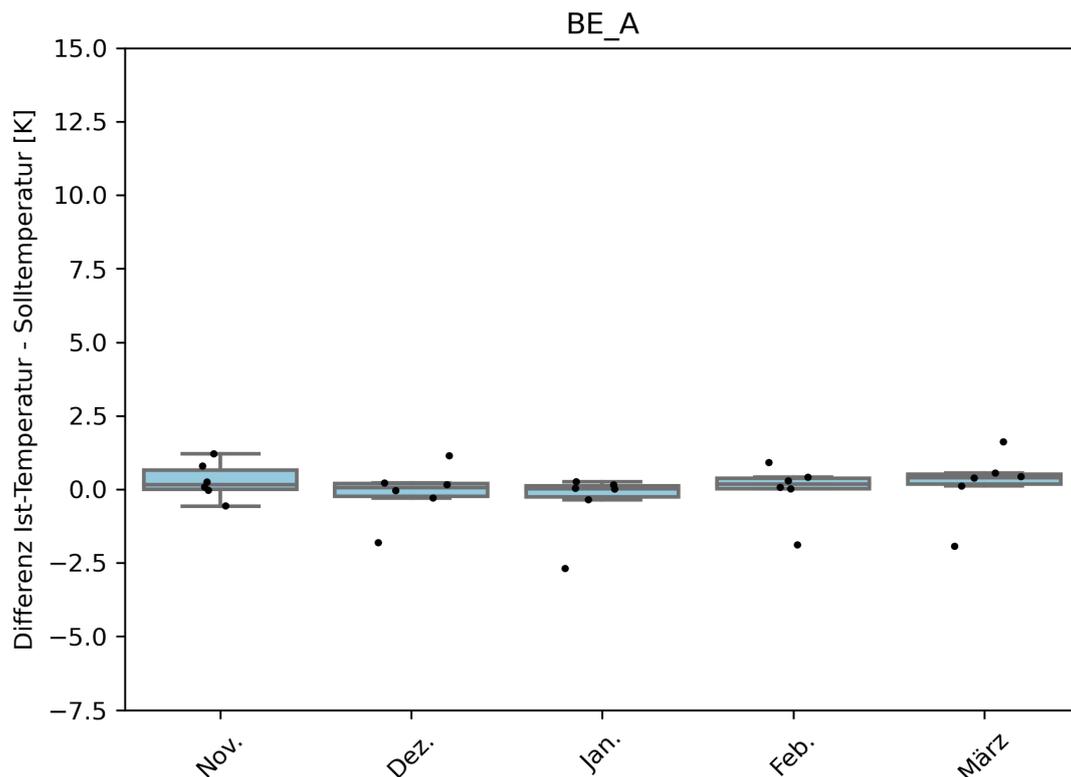


Abbildung 32: Differenz zwischen Ist- und Sollwert der Raumtemperatur für die Siedlung Bern (6 Wohnungen). Die Messperiode beinhaltet die Winter 2019/20, 2020/21 und 2021/22. Die Monatswerte sind jeweils über die Werte der entsprechenden Monate aller Jahre gemittelt. Die Punkte entsprechen den einzelnen Wohnungen.

3.2.4 Spezifischer Heizbedarf

Die Abbildung 33 zeigt für den Standort Horgen und die Winterperioden von November bis Februar der Winter 2019/20, 2020/21 und 2021/22 die durchschnittlichen eingestellten Solltemperaturen der einzelnen Wohnungen und den entsprechenden mittleren Heizleistungsbedarf bezogen auf die Nettogeschossfläche. Es ist erwartungsgemäss ein Zusammenhang ersichtlich. Die Werte sind zudem wiederum aufgeteilt in solche für Wohnungen im Erdgeschoss, in der Mitte und im Dachgeschoss. Es ist ersichtlich, dass der Heizbedarf bei den Wohnungen unten und oben, bei gleicher Solltemperatur, tendenziell höher ist als in den mittleren Wohnungen. Wie bereits weiter oben beschrieben, werden dort tendenziell auch höhere Solltemperaturen eingestellt.

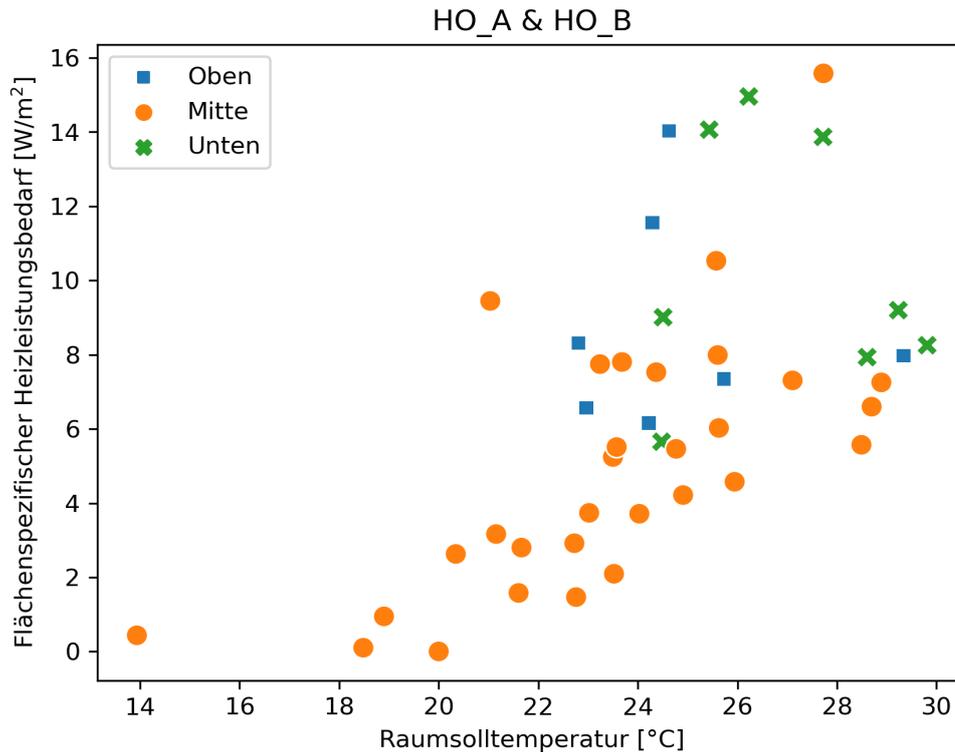


Abbildung 33: Flächenspezifischer Heizleistungsbedarf in Funktion der Sollraumtemperatur. Die Punkte entsprechen Mittelwerten über die Zeitperioden von November bis Februar der Winter 2019/20, 2020/21 und 2021/22 für die einzelnen Wohnungen, aufgeteilt in solche im untersten, in den mittleren und im obersten Geschoss.

In Abbildung 34 sind die Energiesignaturen der einzelnen Gebäude dargestellt, relative Werte in der linken Spalte und absolute Werte in der rechten. Aufgetragen sind gemessene Monatsmittelwerte jeweils für das gesamte Gebäude und im Fall von Horgen zusätzlich die Werte aus den entsprechenden Energienachweisen aus der Planungsphase. Zur besseren Lesbarkeit des Zusammenhangs wurde zusätzlich jeweils eine Sigmoidkurve angepasst, mit der Funktionsform $f(\vartheta) = a_1 \cdot (1 + \xi \cdot e^{-a_2(\vartheta - a_3)})^{-1/\xi}$ und den vier freien Parametern a_1 , a_2 , a_3 und ξ .

Die Gebäude HO_A und HO_B weisen die typischen Kurvenverläufe auf die man beim Energy Performance Gap erwarten würde. Ein grösserer Wärmeverbrauch in der Übergangszeit und einer guten Übereinstimmung von Planung und Messung in der kältesten Periode. BE_A weist einen der Normberechnung ähnlichen Verlauf auf, was auf die geringe Korrelation zwischen Aussentemperatur und Verschattungsanteil (Abbildung 18) zurückzuführen ist im Vergleich zu HO_A und HO_B.

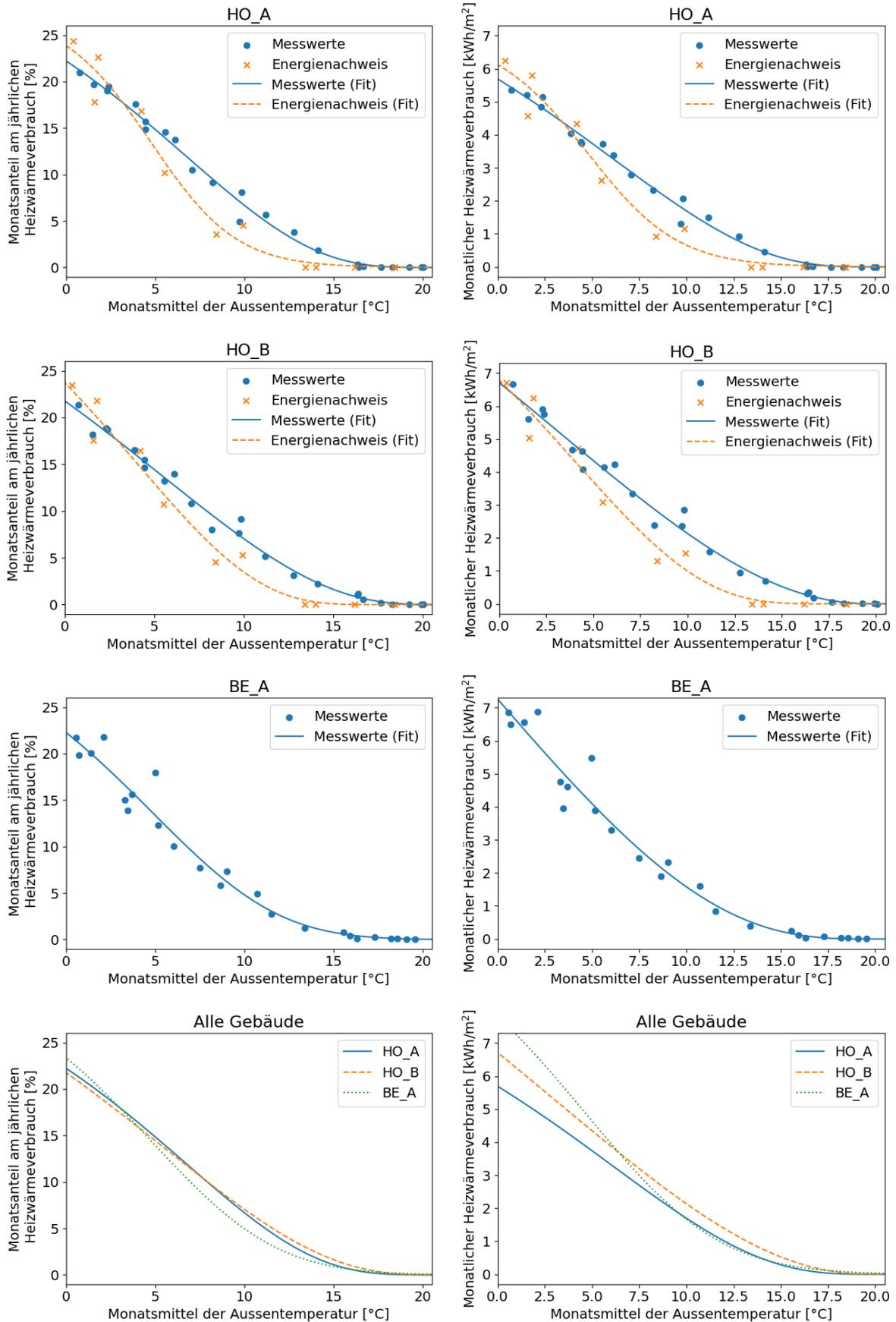


Abbildung 34: Energiesignaturen der verschiedenen Gebäude. Es wurden die zwei Jahre zwischen April 2020 bis März 2022 berücksichtigt. Punkte entsprechen den Monatsmitteln jeweils über das gesamte Gebäude.

Die Beobachtungen basierend auf die Messungen von Ist- und Sollraumtemperaturen und dem Heizenergiebedarf können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die mit den Komfortsensoren gemessenen Raumtemperaturen (zumeist in Wohnzimmern) liegen in den Wintermonaten bei den Gebäuden in Zürich typischerweise (Median) über 23 °C und sind auch bei den Gebäuden in Horgen im Bereich von 22 °C und höher.
- Bei den Gebäuden in Horgen gibt es in den Wintermonaten teilweise deutliche Abweichungen zwischen Ist- und Sollraumtemperaturen. Insbesondere bei den Wohnungen im Erdgeschoss werden die Solltemperaturen nicht überall erreicht. In den mittleren Geschossen wiederum gibt es einige Wohnungen, bei denen die Ist-Temperaturen deutlich über den Solltemperaturen liegen.
- Die Daten der Gebäude in Horgen zeigen erwartungsgemäss, dass der flächenspezifische Heizbedarf klar von der Solltemperatur abhängt.
- Der Einfluss des Nutzerverhaltens ist auch in der Energiesignatur der Gebäude gut erkennbar. Der erhöhte Verschattungsanteil und vermutlich auch das vermehrte Fensteröffnen² führen zu einem höheren Verbrauch in der Übergangszeit, was für die Gebäude HO_A und HO_B gut ersichtlich ist.

² Die Fensteröffnung konnte für HO_A und HO_B nicht erfasst werden, weshalb sich die Annahme auf die Messungen der anderen Gebäude stützt.



3.3 Befragung

3.3.1 Stichprobenbeschreibung

Viele Fragen im Fragebogen betreffen Wahrnehmungen und Einschätzungen, beispielsweise über die Raumtemperatur. Diese Wahrnehmungen und Einschätzungen sind subjektiv. Aus diesem Grund haben alle Bewohner/innen über 18 Jahre den Fragebogen erhalten.

Dies führte bei Mehrpersonenhaushalten dazu, dass unter Umständen mehrere Fragebogen pro Haushalt ausgefüllt wurden. Tabelle 5 gibt einen Überblick über den Rücklauf der Befragung, wobei zwischen Haushalten und Einzelpersonen unterschieden wird. Die Rücklaufquoten liegen zwischen 57% und 80% und sind somit in allen Siedlungen erfreulich hoch.

Tabelle 5: Rücklauf auf Ebene Haushalt und auf Ebene Person der drei Wohnsiedlungen.

	Siedlung ZH	Siedlung HO	Siedlung BE
<i>Rücklauf auf Ebene Haushalt</i>			
Anzahl angeschriebener Haushalte	78	44	5
Rücklauf Haushalte (Anzahl)	59	26	4
Rücklauf Haushalte (Prozent)	76%	59%	80%
<i>Rücklauf auf Ebene Personen</i>			
Anzahl angeschriebener Personen	157	76	5
Rücklauf Fragebogen (Anzahl)	102	43	4
Rücklauf Fragebogen (Prozent)	65%	57%	80%

Tabelle 6 zeigt die soziodemographischen Merkmale der Befragten. Männer und Frauen sind gleichmässig verteilt. Die Befragten in der Siedlung ZH sind im Durchschnitt etwas älter als die Befragten der anderen zwei Siedlungen. Auch haben sie häufiger eine Hochschule abgeschlossen im Vergleich zu den Befragten der anderen zwei Siedlungen.

Tabelle 6: Soziodemographische Merkmale der Befragten. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung.

Soziodemographische Merkmale	Siedlung ZH (n = 102)	Siedlung HO (n = 43)	Siedlung BE (n = 4)
Geschlecht	44 Männer, 56 Frauen, 2 ohne Angabe	21 Männer, 22 Frauen	3 Männer, 1 Frau
Durchschnittsalter	M = 50.8, SD = 12.4	M = 44.0, SD = 16.7	M = 36.0, SD = 14.3
<i>Höchste abgeschlossene Ausbildung</i>			
Kein Schulabschluss oder obligatorische Schulzeit	1 (1%)	3 (7%)	-
Berufslehre, Berufsmittelschule, Vollzeitberufsschule, Handelsschule	11 (11%)	24 (56%)	3 (75%)
Berufsmatura, Lehrerseminar, Diplommittelschule, Wirtschaftsmittelschule	8 (8%)	3 (7%)	-
Fachhochschule, Universität, ETH	75 (74%)	8 (19%)	1 (25%)
Andere Ausbildung, keine Angabe	6 (6%)	5 (12%)	-

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Struktur der teilnehmenden Haushalte. Es fällt auf, dass die teilnehmenden Haushalte der Siedlung ZH im Durchschnitt etwas grösser sind als die teilnehmenden Haushalte der anderen zwei Siedlungen. Grund ist, dass es in der Siedlung ZH mehrere Grosswohnungen und Clusterwohnungen gibt, in denen grosse Wohngemeinschaften wohnen. Die grösste Wohnung in ZH hat 13.5 Zimmer und 273 Quadratmeter Wohnfläche.

Tabelle 7: Haushaltsstruktur der teilnehmenden Haushalte. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung. In der Tabelle wird nur 1 Antwort pro Haushalt berücksichtigt.

	Siedlung ZH (n = 59 Haushalte)	Siedlung HO (n = 26 Haushalte)	Siedlung BE (n = 4 Haushalte)
Durchschnittliche Anzahl Personen pro antwortendem Haushalt	M = 3.29 (SD = 2.47)	M = 2.85 (SD = 1.41)	M = 2.50 (SD = 1.00)
<i>Anzahl Haushalte</i>			
Single-Haushalte	14	4	0
2-Personen-Haushalte	10	10	3
3-Personen-Haushalte	14	3	0
4-Personen-Haushalte	10	4	1
5-Personen-Haushalte	6	5	0
6-Personen und mehr Haushalte	5	0	0

3.3.2 Resultate der Befragung

Die folgenden Analysen fokussieren auf die zwei Siedlungen ZH und HO³. Aufgrund der tiefen Fallzahlen werden die Antworten aus der Siedlung BE ausgeschlossen.

Einstellungen gegenüber dem Energiesparen

Die Befragung erfasst die Einstellung der Befragten gegenüber dem Energiesparen. Abbildung 35 zeigt, dass die Bewohner/innen durchschnittlich ziemlich affin gegenüber dem Thema Energiesparen sind. Sie sind im Durchschnitt der Meinung, dass der Klimawandel ein ernstzunehmendes Thema sei, gegen das wir als Gesellschaft aktiv werden müssen, sie wissen, wie sie Energiespartipps umsetzen können und mit welchen Tätigkeiten im Haushalt sie am meisten Energie verbrauchen. Entsprechend schätzten sie ihr eigenes, noch vorhandenes Energiesparpotential nicht hoch ein. Bei der Mehrheit scheint eine gewisse Bereitschaft vorhanden zu sein, auf persönlichen Komfort zu verzichten, wenn das zu Energieeinsparungen führt.

Während sich die Befragten durchschnittlich selber als sehr problembewusst einschätzten, liegen die wahrgenommenen sozialen Normen (sowohl deskriptive als auch injunktive Normen [14]) bezüglich Energiesparen etwas tiefer.

³ Hinweis: Die Anzahl Antworten schwankt je nach Frage und je nach Siedlung unterschiedlich stark. Dies hat folgenden Grund: In der Siedlung ZH wurde der Fragebogen in grosser Mehrheit online ausgefüllt, in der Siedlung HO auf Papier. Bei der Online-Ausfüllung bestand im Gegensatz zur Papierversion keine Möglichkeit, Fragen zu überspringen. Aus diesem Grund schwankt die Anzahl Antworten in HO stärker als in ZH.



Bei den Einstellungen gegenüber dem Energiesparen zeigen sich zwei Unterschiede zwischen der Siedlung ZH und der Siedlung HO:

- Die Befragten in ZH sind im Vergleich zu den Befragten in HO noch stärker der Meinung, dass der Klimawandel ein ernstzunehmendes Thema sei, gegen das wir als Gesellschaft aktiv werden müssen.
- Die Befragten in ZH nehmen im Vergleich zu den Befragten in HO stärkere soziale Normen in Richtung Energiesparen wahr.

Insgesamt zeigen die Befragungen in beiden Siedlungen eine hohe Affinität gegenüber dem Energiesparen, wobei die Affinität in der Siedlung ZH noch etwas stärker ausgeprägt ist im Vergleich zur Siedlung HO.

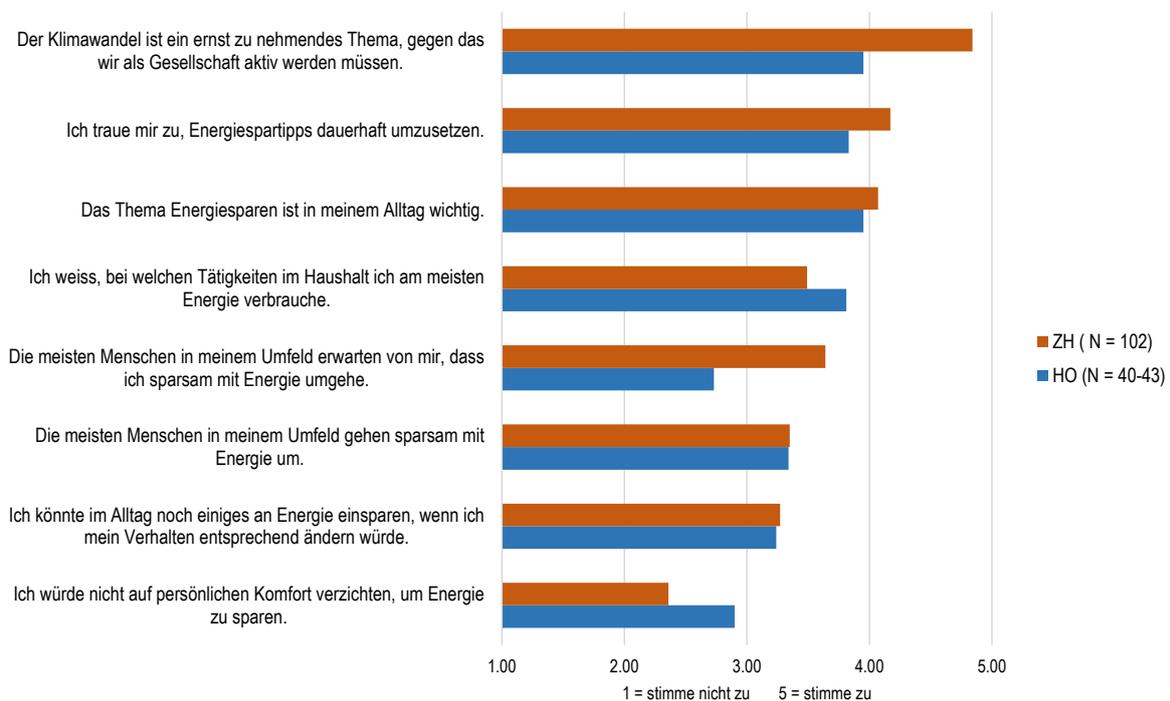


Abbildung 35: Einstellungen gegenüber dem Thema Energiesparen. Mittelwerte.

Wahrnehmung und Regulierung der Raumtemperatur

Die Regulierung der Raumtemperatur erfolgt in HO mittels eines digitalen Bediengerätes bei dem die gewünschte Sollwerttemperatur eingegeben werden kann. Die Messung der Raumtemperatur erfolgt im Wohnzimmer wobei jede Zone (Zimmer) über ein Regelventil gesteuert wird, da beispielsweise tiefere Raumtemperaturen gewählt werden können im Schlafzimmer gegenüber dem Wohnzimmer. In ZH sind Thermostatventile (Handrad) in jedem Zimmer vorhanden mit welchem über fünf Stufen die Raumtemperatur eingestellt werden kann. Diese befinden sich in Bodennähe und sind typisch für ältere Gebäude mit einer Fussbodenheizung.

Den Befragten in der Siedlung ZH ist es im Winter eher zu warm, besonders wenn draussen eher warme Temperaturen herrschen. Wenn es draussen sehr kalt ist, schätzen sie die Temperatur als «gerade richtig» ein (s. Abbildung 36).



Abbildung 36: Einschätzung der Raumtemperatur in der Siedlung ZH. N = 102, Mittelwerte. Die Mittellinie der Skala ist 3, «gerade richtig».

Die von den Befragten im ZH eingeschätzten oder gemessenen Temperaturen des Wohnzimmers betragen im Mittel 22.1 °C. Angaben, die auf Schätzungen basieren, fallen im Schnitt um 0.6 K geringer aus als Angaben, die auf Messung beruhen (s. Tabelle 8).

Tabelle 8: Geschätzte oder von den Befragten selbst gemessene Temperatur im Wohnzimmer in ZH.

Quelle	Temperatur °C, Mittelwert	Temperatur °C, Standardabweichung	N
Messung	22.5	1.2	38
Schätzung	21.9	1.4	64

88 % (n = 90) der Befragten in ZH nehmen selbst Einstellungen an der Raumtemperatur vor und regeln so die Temperatur in der Wohnung. 12 % (n = 12) tun dies nicht. Dafür sind unterschiedliche Gründe ausschlaggebend, z. B. weil die Heizung generell nicht benötigt werde und auf null gestellt sei, weil die Heizung einmal eingestellt wurde und seither nicht mehr, oder weil die Heizungsregelung nicht funktioniere.

Wenn es den Befragten in der Siedlung ZH in ihren Wohnungen zu warm wird, drehen viele die Heizungsregler runter, tragen weniger Kleider und/oder öffnen die Fenster. Wenn es zu kalt wird, tragen sie zusätzliche Kleidung, drehen die Heizungsregler hoch oder nutzen zusätzliche Decken. Fast niemand benutzt in diesem Fall ein zusätzliches Heizgerät (s. Tabelle 9).



Tabelle 9: Reaktionen auf zu warme oder zu kalte Raumtemperatur in ZH. Mehrfachnennungen möglich. N = 102.

Handlung wenn es in der Wohnung zu <u>warm</u> ist	Anzahl Nennungen	Handlung wenn es in der Wohnung zu <u>kalt</u> ist	Anzahl Nennungen
Ich drehe den Heizungsregler in den entsprechenden Zimmern runter	85	Ich ziehe zusätzliche Kleidung an	76
Ich trage weniger Kleidung	65	Ich drehe den Heizungsregler in den entsprechenden Zimmern hoch	70
Ich öffne die Fenster	59	Ich benutze zusätzliche Decken	40
Ich mache etwas anderes	12	Ich mache etwas anderes	10
Ich bitte den Hauswart (<i>Name war eingefügt</i>), die Heizung im Gebäude generell tiefer einzustellen	8	Ich unternehme nichts	8
Ich unternehme nichts	3	Ich bitte den Hauswart (<i>Name war eingefügt</i>), die Heizung im Gebäude generell höher einzustellen	3
Ich wende mich an die Geschäftsstelle	0	Ich schalte ein Heizgerät ein (z.B. Elektro-Öfeli)	2

Den Befragten in HO ist es hingegen eher etwas zu kühl. Die Temperatur des Fussbodens ist jedoch deutlich zu kühl - eine Frage welche spezifisch für diese Siedlung ergänzt wurde. Nur wenn es draussen eher zu warm ist, schätzen die Befragten die Raumtemperatur als «gerade richtig» ein (s. Abbildung 37).

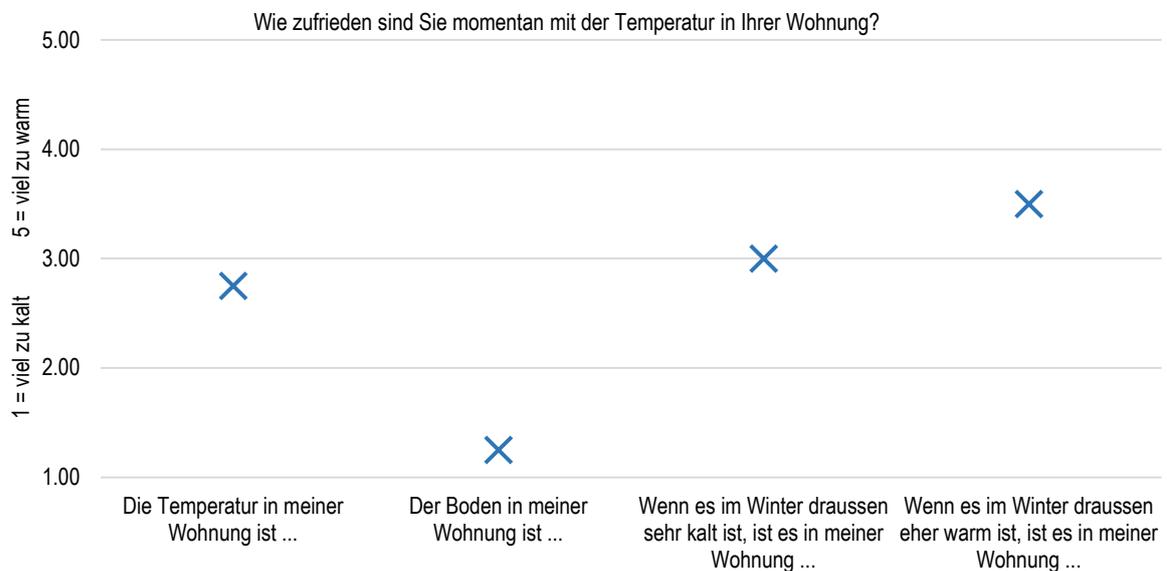


Abbildung 37: Einschätzung der Raumtemperatur in der Siedlung HO. N = 38-43; Mittelwerte. Die Mittellinie der Skala ist 3, «gerade richtig».

Die von den Befragten in HO eingeschätzten oder gemessenen Temperaturen des Wohnzimmers betragen im Mittel 23.1 °C. Wie in der Siedlung ZH fallen Angaben, die auf Schätzungen basieren geringer aus. Im Fall von HO ist die Schätzung um 1.9 K tiefer als die Messung (s. Tabelle 10), was eine deutlich grössere Differenz ist im Vergleich zur Siedlung ZH.

Tabelle 10: Geschätzte oder von den Befragten selbst gemessene Temperatur im Wohnzimmer in HO.

Quelle	Temperatur °C, Mittelwert	Temperatur °C, Standardabweichung	N
Messung	23.5	0.9	26
Schätzung	21.6	1.1	9

81 % (n = 34) der Befragten in HO nehmen selbst Einstellungen an der Raumtemperatur vor und regeln so die Temperatur in der Wohnung. 19 % (n = 8) tun dies nicht. Dafür sind unterschiedliche Gründe ausschlaggebend: Fünf Befragte geben an, dass sie nicht wissen, wie die Heizung eingestellt werden könne, drei Befragte geben an, dass sie nicht wissen, wo sie die Heizung einstellen können und drei Befragte geben an, dass die Heizungsregelung nicht funktioniere.

Wenn es den Befragten in HO in ihren Wohnungen zu warm wird, tragen viele weniger Kleider, drehen die Heizungsregler runter, und/oder öffnen die Fenster. Wenn es zu kalt wird, tragen sie warme Socken und Finken, zusätzliche Kleidung, benutzen zusätzliche Decken und/oder drehen die Heizungsregler hoch. Wenige nutzen ein zusätzliches Heizgerät (s. Tabelle 11).

Tabelle 11: Reaktionen auf zu warme oder zu kalte Raumtemperatur in HO. Mehrfachnennungen möglich. N = 42.

Handlung wenn es in der Wohnung zu <u>warm</u> ist	Anzahl Nennungen	Handlung wenn es in der Wohnung zu <u>kalt</u> ist	Anzahl Nennungen
Ich trage weniger Kleidung	26	Ich trage warme Socken / Finken	29
Ich drehe den Heizungsregler in den entsprechenden Zimmern runter	20	Ich ziehe zusätzliche Kleidung an	25
Ich öffne die Fenster	15	Ich benutze zusätzliche Decken	19
Ich bitte den Hauswart (<i>Name war eingefügt</i>), die Heizung im Gebäude generell tiefer einzustellen	4	Ich drehe den Heizungsregler in den entsprechenden Zimmern hoch	17
Ich wende mich an die Verwaltung	4	Ich wende mich an die Verwaltung	6
Ich unternehme nichts	2	Ich bitte den Hauswart (<i>Name war eingefügt</i>), die Heizung im Gebäude generell höher einzustellen	5
-	-	Ich unternehme nichts	3
-	-	Ich schalte ein Heizgerät ein (z.B. Elektro-Öfeli)	3



Beim Vergleich der objektiv gemessenen Temperaturen in den Wohnungen beider Siedlungen zeigt sich, dass es in ZH im Winter und im Frühling im Durchschnitt etwas kühler ist als in HO (s. Tabelle 12), die subjektive Temperaturempfindung widerspiegelt dies allerdings nicht, sie deutet eher auf den gegenteiligen Effekt hin (vgl. Abbildung 36 und Abbildung 37). Die objektiven Messdaten sind allerdings über mehrere Wochen aggregiert und beziehen sich somit nicht unmittelbar auf denselben Messzeitpunkt wie die Messung der subjektiven Temperaturempfindung.

Tabelle 12: Durchschnittliche gemessene Temperaturen in den Siedlungen ZH und HO.

Gemessene Temperatur	ZH	HO
Temperatur Herbst	(keine Daten verfügbar)	Minimum: 22.7°C, Maximum: 26.4°C, Mittelwert = 24.4°C, SD: 0.69°C, n = 45
Temperatur Winter	Minimum: 20.4°C, Maximum: 25.4°C, Mittelwert = 23.2°C, SD: 0.86°C, n = 46	Minimum: 22.1°C, Maximum: 26.0°C, Mittelwert = 23.8°C, SD: 0.98°C, n = 45
Temperatur Frühling	Minimum: 22.5°C, Maximum: 24.8°C, Mittelwert = 23.5°C, SD: 0.60°C, n = 46	Minimum: 22°C, Maximum: 26.2°C, Mittelwert = 24°C, SD: 0.83°C, n = 45

Bei der Gegenüberstellung der subjektiv wahrgenommenen Temperaturen gemäss Befragung⁴ und der objektiv gemessenen Temperaturen in den Wohnungen beider Siedlungen zeigen sich folgende Zusammenhänge:

- In der Siedlung HO besteht keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der gefühlten Temperatur und der gemessenen Temperatur im Herbst, Winter, oder Frühling.
- In der Siedlung ZH besteht ein leicht signifikanter, positiver Zusammenhang zwischen gefühlter Temperatur und gemessener Temperatur, allerdings nur im Frühling, $r = .23$, $p = <.05$. ($n = 64$). Das heisst im Frühling gilt: je wärmer die Wohnung, desto höher die gefühlte Temperatur.

⁴ * Gefühlte Temperatur = Antwort im Fragebogen auf Frage: Die Temperatur in meiner Wohnung ist ... viel zu kalt (1) bis viel zu warm (5).

Lüften

In allen untersuchten Gebäuden können die Fenster nur ganz geöffnet werden, es gibt keine Kippmöglichkeit⁵. Alle Gebäude ausser Haus B der Siedlung ZH besitzen eine mechanische Lüftung.

Zwei Drittel der Befragten in ZH (n = 66) gaben an, beim Einzug Informationen zum Lüften und zur Lüftung erhalten zu haben. 55 % können sich an die Information erinnern, 11 % können sich nicht mehr an den Inhalt erinnern (s. Tabelle 13).

Tabelle 13: Informationen zum Lüften und zur Lüftung erhalten beim Einzug in die Siedlung ZH. N = 102.

Information zum Lüften und zur Lüftung beim Einzug	Anzahl Personen	Prozentualer Anteil
Ja, ich kann mich an die Information erinnern	55	54 %
Ja, aber ich erinnere mich nicht mehr an die Information	11	11 %
Nein, ich habe keine Information erhalten	23	23 %
Weiss nicht	13	13 %
Total	102	100 %

In der Siedlung ZH haben die Fenster keine Kippfunktion. Von den zwei Häusern verfügt Haus A über eine Lüftung und Haus B nicht. Insgesamt gaben 78 (76%) der Befragten in ZH an, dass ihre Fenster praktisch nie über längere Zeit geöffnet sind. Tabelle 14 zeigt, dass dieser Anteil in beiden Häusern etwa gleich ist, d.h. die Tatsache, dass Haus A eine Lüftung hat, führt nicht dazu, dass in diesem Haus die Fenster seltener über einen längeren Zeitraum geöffnet sind.

Tabelle 14: Handhabung der Fenster in der Siedlung ZH. N = 102.

Fensteröffnung	Total	Haus A (mit Lüftung)	Haus B (ohne Lüftung)
Fenster sind praktisch nie länger geöffnet	78 (76%)	64 (77%)	14 (74%)
Es kommt vor, dass Fenster über längere Zeit geöffnet sind	24 (24%)	19 (23%)	5 (26%)
Total	102 (100%)	83 (100%)	19 (100%)

24 der befragten Bewohner/innen in ZH (24%) gaben an, dass ihre Fenster bisweilen über längere Zeit geöffnet sind und zwar vor allem, um Frischluft zuzuführen (vgl. Abbildung 38).

⁵ Dies ist dem Zufall geschuldet und konnte bei der Wahl der Gebäude nicht berücksichtigt werden während der Antragsphase (Ausschreibung). Idealerweise würde man in Zukunft auch noch Gebäude mit Kippfunktion untersuchen und den Gebäuden in dieser Studie gegenüberstellen.



Abbildung 38: Gründe für über längere Zeit geöffnete Fenster in ZH. Anzahl Nennungen. Mehrfachnennungen möglich.

Die Befragung in ZH thematisierte auch die Luftzufuhr beim Schlafen. Konkret wurden die Bewohner/innen gefragt, ob sie beim Schlafen die Schlafzimmertüren jeweils geöffnet oder geschlossen halten. Hierbei zeigte sich folgendes Muster (s. Tabelle 15):

- Gut die Hälfte der Befragten hält die Schlafzimmertüren nachts geschlossen
- Knapp ein Fünftel hat sie teilweise geschlossen und teilweise geöffnet.
- Gut ein Viertel hält die Schlafzimmertüren nachts geöffnet.

Zur weiteren Differenzierung wurden zwei Typen von Haushalten, nämlich Haushalte mit Kindern unter 10 Jahren und ohne Kinder unter 10 Jahren miteinander verglichen. Es zeigt sich folgender Unterschied: Bei Haushalten mit Kindern unter 10 Jahren ist sowohl der Anteil geschlossener Schlafzimmertüren als auch der Anteil offener Schlafzimmertüren höher als bei Haushalten ohne Kinder unter 10 Jahren (s. Tabelle 15).

Tabelle 15: Luftzufuhr beim Schlafen in der Siedlung ZH. N = 102, drei Personen gaben keine Auskunft.

Luftzufuhr zu Schlafzimmern in ZH	Anzahl total (N = 99)	Anzahl bei Haushalten ohne Kinder unter 10 Jahren (n = 73)	Anzahl bei Haushalten mit Kinder unter 10 Jahren (n = 26)
Alle oder die meisten Schlafzimmertüren sind nachts geschlossen	54 (55%)	38 (52%)	16 (62%)
Einige Türen sind nachts offen, einige sind geschlossen	17 (17%)	16 (22%)	1 (4%)
Alle oder die meisten Schlafzimmertüren stehen nachts offen	28 (28%)	19 (26%)	9 (35%)

Fast alle Befragten in HO (n = 34) gaben an, beim Einzug Informationen zum Lüften und zur Lüftung erhalten zu haben. 86 % können sich an die Information erinnern, 8 % können sich nicht mehr an den Inhalt erinnern (s. Tabelle 16).

Tabelle 16: Informationen zum Lüften und zur Lüftung erhalten beim Einzug in die Siedlung HO. N = 36.

Information zum Lüften und zur Lüftung beim Einzug	Anzahl Personen	Prozentualer Anteil
Ja, ich kann mich an die Information erinnern	31	86 %
Ja, aber ich erinnere mich nicht mehr an die Information	3	8 %
Nein, ich habe keine Information erhalten	0	0 %
Weiss nicht	2	6 %
Total	36	100 %

Auch in der Siedlung HO gibt es keine Kippfenster. 29 (67%) der Befragten in HO gaben an, dass ihre Fenster praktisch nie über längere Zeit offen sind. 14 (33%) gaben an, dass dies vorkommt und zwar vor allem, um Gerüche zu vertreiben oder Frischluft zuzuführen (vgl. Abbildung 39).



Abbildung 39: Gründe für über längere Zeit geöffnete Fenster in HO. Anzahl Nennungen. Mehrfachnennungen möglich.

Das Befragungsteam verzichtete nach Absprache mit der Geschäftsstelle der Siedlung auf Detailfragen zur Luftzufuhr bei Schlafzimmern in HO.

Luftfeuchte und Luftqualität

In der Siedlung ZH verfügt Haus A über eine Lüftung, Haus B hat keine. Eine Lüftung kann einen Effekt auf die Wahrnehmung von Luftfeuchte und Luftqualität haben. Daher werden für die folgenden Auswertungen beide Häuser gesondert angeschaut.

Bewohner/innen im Haus A finden die Luft im Winter eher zu trocken, Bewohner/innen im Haus B finden die Luftfeuchte gerade richtig (s. Abbildung 40). Generell sind die befragten Bewohner/innen in der Siedlung ZH eher zufrieden mit der Luftqualität in ihren Wohnungen im Winter. Es wird in beiden Häusern kaum Zugluft wahrgenommen. Bewohner/innen im Haus B (ohne Lüftung) finden die Luft in ihren Wohnungen eher stickig, Bewohnern/innen im Haus A (mit Lüftung) finden sie "gerade richtig" (s. Abbildung 41).



Abbildung 40: Einschätzung der Luftfeuchte in den zwei Häusern in der Siedlung ZH. Mittelwerte. Die Mittellinie der Skala ist 3, «gerade richtig».

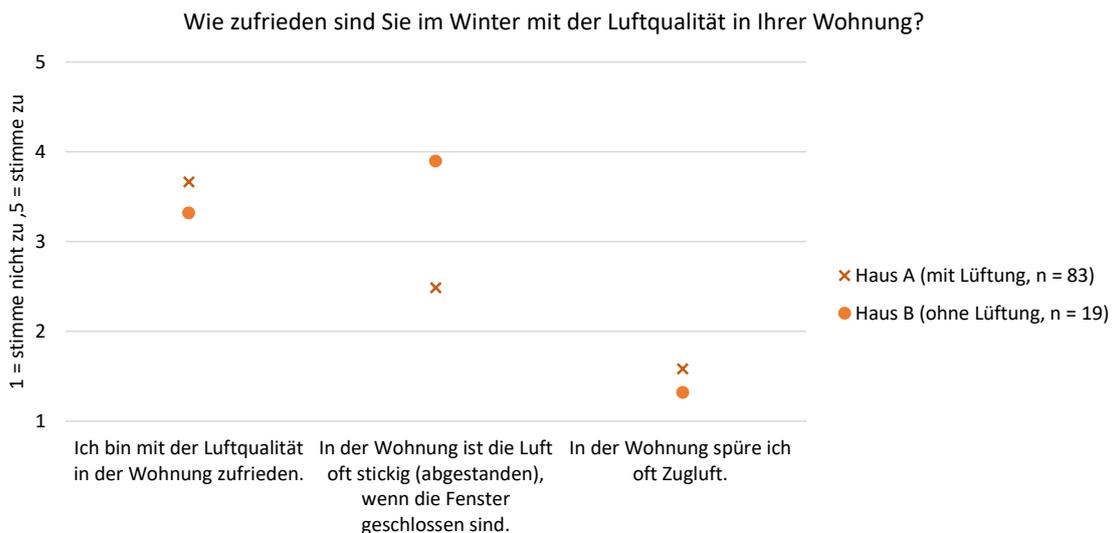


Abbildung 41: Einschätzung der Luftqualität in den zwei Häusern in der Siedlung ZH. Mittelwerte. Die Mittellinie der Skala ist 3, «gerade richtig».

Die meisten Befragten in ZH (80 %, n = 82) gaben an, im Winter keinen Luftbefeuchter zu betreiben. 17 (17 %) gaben an, einen Luftbefeuchter zu betreiben. 2 (2 %) gaben an, zwei Luftbefeuchter zu betreiben, eine Person machte hierzu keine Angaben (s. Abbildung 42).

Betrieb von Luftbefeuchtern im Winter



Abbildung 42: Betrieb von Luftbefeuchtern im Winter in der Siedlung ZH. N = 99.



Die befragten Bewohner/innen in HO finden die Luft im Winter eher zu trocken (s. Abbildung 43). Generell sind die befragten Bewohner/innen in HO eher zufrieden mit der Luftqualität in ihren Wohnungen. Sie finden nicht, dass die Luft stickig sei, wenn die Fenster geschlossen sind und nehmen kaum Zugluft wahr (s. Abbildung 44).

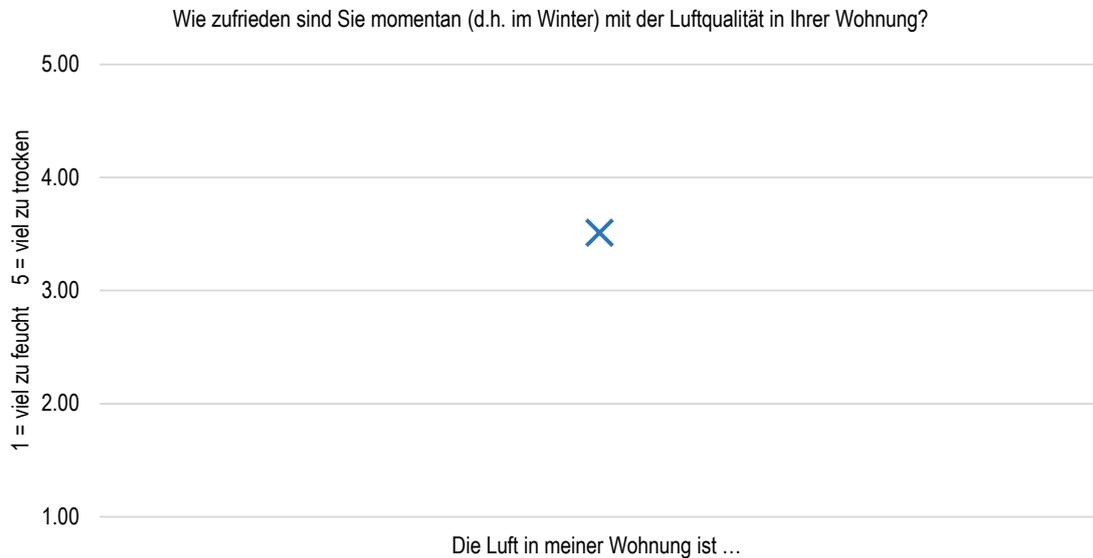


Abbildung 43: Einschätzung der Luftfeuchte in HO. Mittelwert, N = 40-43.

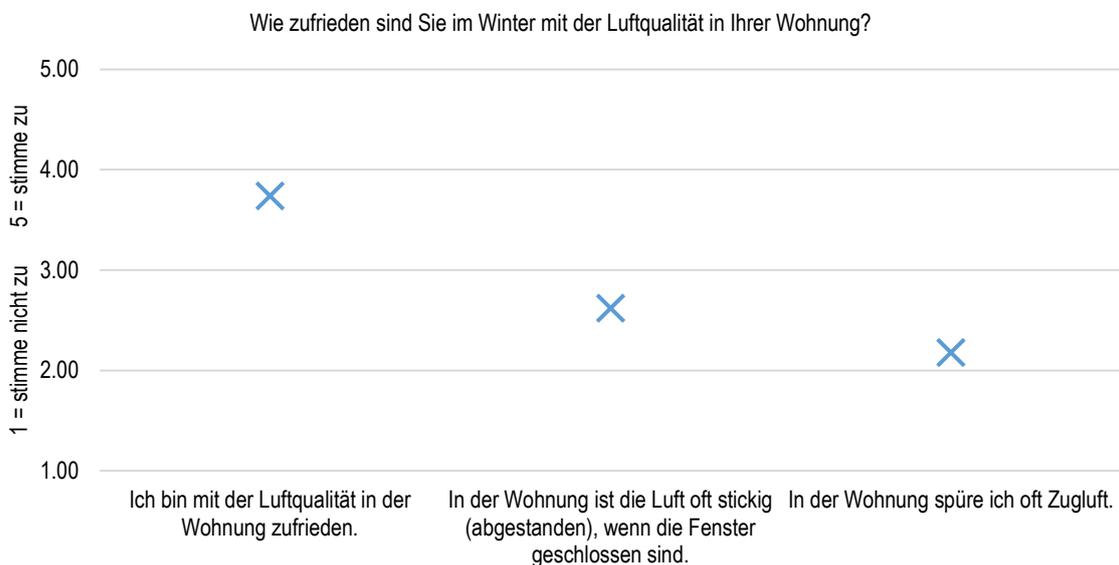


Abbildung 44: Einschätzung der Luftqualität in HO. Mittelwerte, N = 40-43.

Knapp zwei Drittel der Befragten in HO (64 %, n = 28) gaben an, im Winter keinen Luftbefeuchter zu betreiben. Ein gutes Viertel der Befragten (27 %, n = 12) gab an, einen Luftbefeuchter zu betreiben. Vier Personen (9 %) gaben an, zwei oder mehr Luftbefeuchter zu betreiben (s. Abbildung 45).

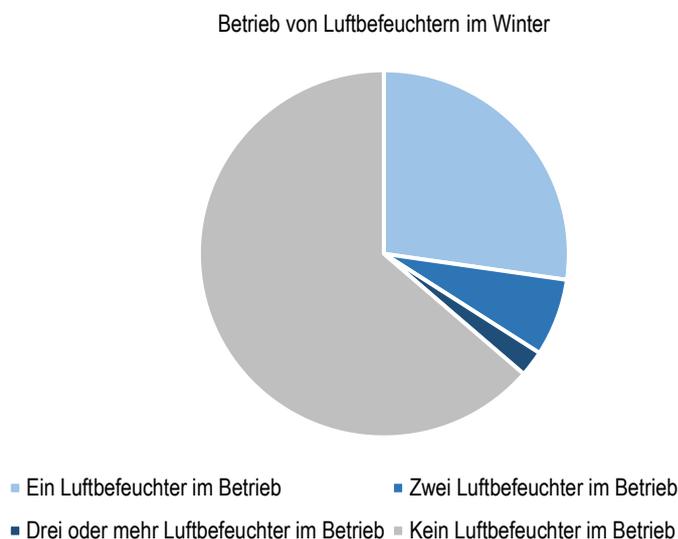


Abbildung 45: Betrieb von Luftbefeuchtern im Winter in der Siedlung HO. N = 44.

Nutzung der Storen

Der Sonnenschutz (Storen) werden in allen Siedlungen Manuel bedient. Zum Teil mit einer Handkurbel oder über eine Fernsteuerung mit motorisiertem Antrieb.

Ungefähr zwei Drittel der Befragten in ZH (n = 65) gaben an, tagsüber die Storen praktisch immer geöffnet zu haben. Die andere gaben an, dass ihre Storen ab und zu (n = 26) oder oft (n = 11) geschlossen seien tagsüber (s. Tabelle 17)

Tabelle 17: Schliessung der Storen tagsüber in ZH. N = 102.

Schliessung der Storen tagsüber	Anzahl Personen	Prozentualer Anteil
Storen sind tagsüber praktisch immer geöffnet	65	64 %
Es kann vorkommen, dass die Storen tagsüber geschlossen sind	26	25 %
Es kommt oft vor, dass die Storen tagsüber geschlossen sind	11	11 %
Total	102	100 %

Diejenigen 37 Personen, welche ihre Storen ab und zu oder oft geschlossen zu haben, tun dies, um den Lichteinfall zu reduzieren sowie als Blend-, Sicht-, und Wärmeschutz. (s. Tabelle 18).



Tabelle 18: Gründe weshalb die Storen in ZH tagsüber geschlossen sind. Mehrfachnennung möglich. N = 37.

Gründe, weshalb die Storen tagsüber geschlossen sind	Anzahl Nennungen
Um den Lichteinfall zu reduzieren (z. B. zum Schlafen)	20
Damit mich das Sonnenlicht nicht blendet	16
Damit man mir nicht direkt in die Wohnung sieht	15
Damit es von der Sonne nicht zu heiss wird	12
Anderer Grund (bitte angeben)*	8
Weil ich diese Räume tagsüber nicht nutze	5
Weil ich vergesse, die Storen jeweils hochzudrehen	4
Wenn ich weggehe, schliesse ich die Storen	2

* Bei anderes nannten die Befragten Dinge wie Bequemlichkeit, oder Anpassung der Lamellenstellung anstatt Hochdrehen.

Ungefähr zwei Drittel (n = 28) der Befragten in HO gaben an, tagsüber die Storen praktisch immer geöffnet zu haben. Die andere (n = 16) gaben an, dass es vorkommen kann, dass ihre Storen tagsüber geschlossen seien (s. Tabelle 19).

Tabelle 19: Schliessung der Storen tagsüber in HO. N = 44.

Schliessung der Storen tagsüber	Anzahl Personen	Prozentualer Anteil
Storen sind tagsüber praktisch immer geöffnet	28	64 %
Es kann vorkommen, dass die Storen tagsüber geschlossen sind	16	36 %
Total	44	100 %

Diejenigen 16 Personen, welche ihre Storen ab und zu oder oft geschlossen zu haben, tun dies, um den Lichteinfall zu reduzieren sowie als Blend-, Sicht-, und Wärmeschutz. (s. Tabelle 20).

Tabelle 20: Gründe weshalb die Storen in HO tagsüber geschlossen sind. Mehrfachnennung möglich. N = 16.

Gründe, weshalb die Storen tagsüber geschlossen sind	Anzahl Nennungen
Um den Lichteinfall zu reduzieren (z. B. zum Schlafen)	10
Damit man mir nicht direkt in die Wohnung sieht	9
Damit mich das Sonnenlicht nicht blendet	8
Damit es von der Sonne nicht zu heiss wird	8
Weil ich diese Räume tagsüber nicht nutze	4
Wenn ich weggehe, schliesse ich die Storen	3
Schutz vor Einbrüchen	5
Anderer Grund (bitte angeben)*	1
Weil ich vergesse, die Storen jeweils hochzudrehen	1

* Legende. Bei anderes nannte die befragte Person: Schutz des Fensters vor Regenwasser.

3.4 Modell reales Nutzerverhalten

Wie im Kapitel 2.3 beschrieben, wurden unterschiedliche Parameter in Bezug auf das Nutzerverhalten kombiniert und damit 1500 Simulationsergebnisse für ein Referenzgebäude generiert. Diese wurden 40 real gemessenen Gebäuden gegenübergestellt, um die beste Parameterkombination aus Verschattung, Fensteröffnung und Temperatursollwert-Einstellung zu finden. In den nachfolgenden Kapiteln sind die detaillierten Resultate beschrieben.

3.4.1 Parameterwahl für realistisches Nutzerverhalten

Die genaueste Abschätzung der relativen und absoluten Energiesignatur (kleinstes Produkt der RMSE⁶) wurde mit der folgenden Parameterkombination erreicht:

- Sollraumtemperatur gleich 24 °C ($T_{sp,4}$)
- Verschattung mit g-Multiplikationsfaktor 0.31 ($f_{g,2}$)
- Schwache Verschattung der Fenster in Abhängigkeit der Aussentemperatur ($f_{shd,5}$)
- Fensteröffnungsrate nach Variante 5 ($f_{win,5}$)
- Luftaustausch berechnet nach Weber

Die Ergebnisse für die beste Parameterkombination sind in Abbildung 46 dargestellt. Für den Fit wurde ein Polynom dritten Grades gewählt.

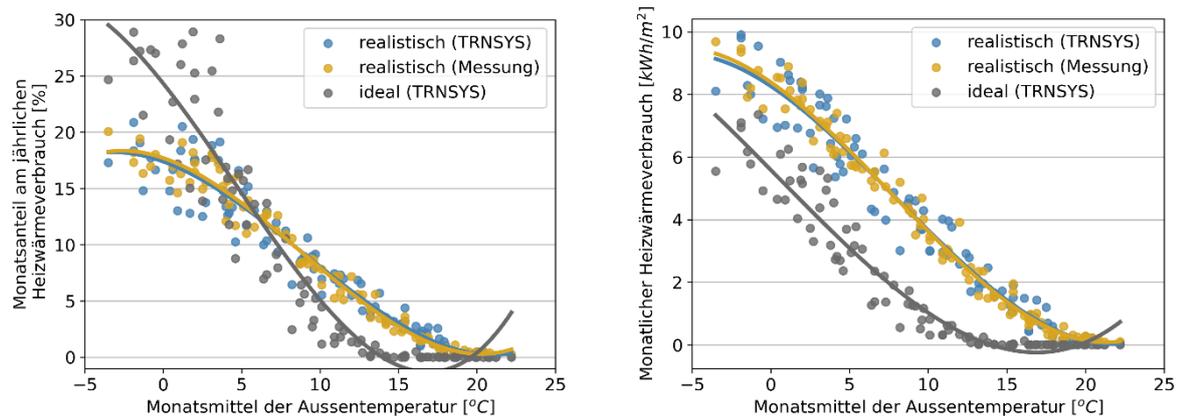


Abbildung 46: Ergebnisse mit kleinstem Produkt der RMSE. Monatlicher Anteil am jährlichen Heizwärmeverbrauch für alle untersuchten Jahre mit $T_{sp,4}$, $f_{g,2}$, $f_{shd,5}$, $f_{win,5}$ und Luftaustauschberechnung nach Weber (blau), verglichen mit realen Messwerten (gelb), sowie der Energienachweisberechnung (grau). Links: Prozentualer Anteil, relative Energiesignatur. Rechts: Absolute Energiesignatur spezifisch auf die Energiebezugsfläche.

Bei dieser Kombination ist jedoch die Sollraumtemperatur mit 24 °C höher als dies bei den Messungen (Kapitel 3.2.1) beobachtet wurde. In Realität liegt die Raumtemperatur im Schnitt bei ca. 23 °C, weswegen eine angepasste Parameterkombination (siehe unten) gewählt wurde. Die Kurve bei dieser Parameterkombination (Abbildung 47) stimmt prozentual sehr gut mit den Messdaten überein. Der tatsächliche Wärmeverbrauch (absolute Werte) ist jedoch etwas tiefer als bei der Messung. Dies ist jedoch kein grundsätzliches Problem, da ja das Referenzgebäude nicht exakt auf den gemessenen Gebäuden beruht⁷.

⁶ root mean square error (RMSE), Definition ist im Kapitel 2.3.2 beschrieben.

⁷ Das Referenzgebäude wurde aus 65 MFH gebildet die im Projekt ImmoGap verwendet wurden, davon werden für die vorliegende Studie 40 weiterverwendet, um das realistische Nutzerverhalten zu ermitteln. Viele Gebäudeeigenschaften wurden im Referenzgebäude so gewählt, dass es dem Schweizer Durchschnitt entspricht.



Deswegen kann davon ausgegangen werden, dass die beiden Kurven nicht komplett mit den Messungen übereinstimmen müssen. Neben der Sollraumtemperatur unterscheidet sich auch die Verschattung, welche mit der mittleren Verschattung ($f_{shd,4}$) etwas stärker ist als beim vorherigen Fall (schwache aussentemperaturabhängige Verschattung). Die Begründung liegt darin, dass die Sollraumtemperatur fixiert wurde und damit das Parameterset so beeinflusst wurde, dass weiterhin ein möglichst hohes RMSE erreicht wird. Die restlichen Parameter sind gleichgeblieben.

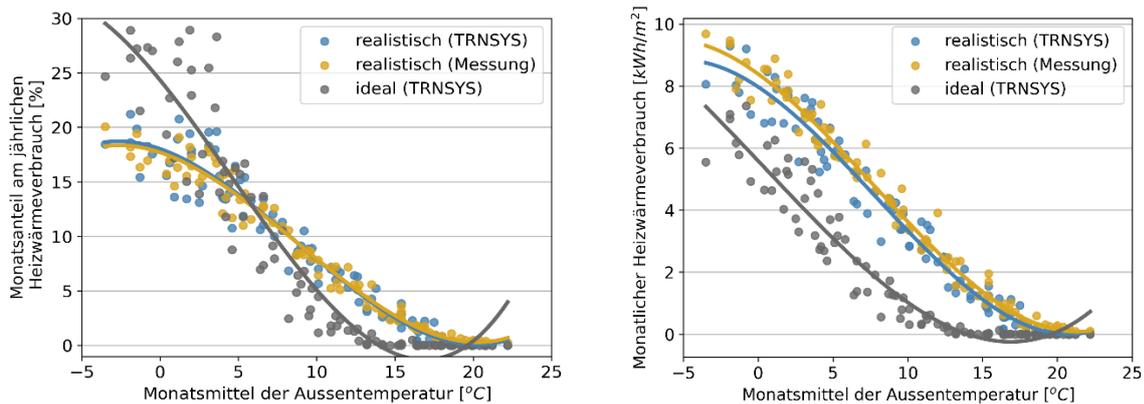


Abbildung 47: Ergebnisse mit gewählten realistischem Nutzerverhalten. Monatlicher Anteil am jährlichen Heizwärmeverbrauch für alle untersuchten Jahre mit $T_{sp,3}$, $f_{g,2}$, $f_{shd,4}$, $f_{win,5}$ und Luftaustauschberechnung nach Weber (blau), verglichen mit realen Messwerten (gelb), sowie der Energienachweisberechnung (grau). Links: Relative Energiesignatur. Rechts: Absolute Energiesignatur spezifisch auf die Energiebezugsfläche.

Nachfolgend sind die Parameter, welche für das realistische Nutzerverhalten gewählt wurden, aufgeführt:

- Sollraumtemperatur gleich 23 °C ($T_{sp,3}$)
- Verschattung mit g-Multiplikationsfaktor 0.31 ($f_{g,2}$)
- Mittlere Verschattung der Fenster in Abhängigkeit der Aussentemperatur ($f_{shd,4}$)
- Fensteröffnungsrate nach Variante 5 ($f_{win,5}$)
- Luftaustausch berechnet nach Weber

Die resultierenden RMSE für die beiden oben dargestellten Varianten (Abbildung 46 und Abbildung 47) sind in Tabelle 21 aufgeführt. Der RMSE der prozentualen Energiesignatur ist für die gewählte Kombination etwas kleiner als für die «beste» Energiesignatur, welche das kleinste Produkt der RMSE ergibt. Der Unterschied ist jedoch so gering, dass die gewählte Parameterkombination als gleichwertig zur «besten» Parameterkombination eingestuft werden kann.

Tabelle 21: Vergleich der root mean square errors (RMSE) der «besten» und der ausgewählten Parameterkombination.

Variante	RMSE relative Energiesignatur [%]	RMSE absolute Energiesignatur [kWh/m ²]	Produkt der beiden RMSE
«beste» Parameterkombination (tiefstes Produkt der RMSE)	0.223	0.074	0.016
Gewählte Parameterkombination für das realistische Nutzerverhalten	0.220	0.315	0.069

Der mittels dynamischer Gebäudesimulation ermittelte Heizwärmebedarf nimmt beim Neubau mit dem realistischen Nutzerverhalten gegenüber der Simulation mit idealem Nutzerverhalten um 26.1 kWh/m² zu, was einer Verdopplung des Heizwärmebedarfs entspricht (s. Tabelle 22). Vergleicht man die dynamische Simulation mit der SIA 380/1 Berechnung nach Norm, dann nimmt der Heizwärmebedarf um 17.5 kWh/m² (+52%) zu. Diese Zunahme stimmt gut überein mit den Resultaten aus dem Projekt ImmoGap [2], wo eine durchschnittliche Abweichung zwischen Messung und Norm-Berechnung von 44% festgestellt wurde, wobei die Abweichung vom Gebäudestandard abhängig ist, was in Abbildung 50 ersichtlich ist. Die detaillierte Wärmebilanz von der idealen und realistischen Gebäudesimulation ist in Abbildung 48 und Abbildung 49 dargestellt.

Für einen Altbau wurde dasselbe Nutzerverhalten für Vergleichszwecke auch simuliert und dem idealen als auch der Normberechnung gegenübergestellt. Die Zunahme des Heizwärmebedarfs aufgrund des realistischen Nutzerverhaltens mit 43 kWh/m² (+32%) ist als zu gross zu bewerten. Ältere Gebäude weisen eher keinen Energy Performance Gap auf und verbrauchen tendenziell weniger Energie als geplant (Normberechnung), dies ist in Abbildung 50 ersichtlich. Aufgrund der höheren Infiltration bei Altbauten, was auf die undichte Gebäudehülle zurückzuführen ist, gehen wir davon aus, dass weniger oft gelüftet werden muss, wie in einem Neubau und die Raumtemperaturen im Schnitt ein bis zwei Grad tiefer sind [13]. **Aus diesem Grund ist das in dieser Studie erarbeitete «realistische Nutzerverhalten» vorwiegend für Neu- und Sanierungsbauten gedacht, wo der «Energy Performance Gap» laut ImmoGap [2] am grössten ist.**

Tabelle 22: Vergleich des spezifischen Heizwärmebedarfs für zwei unterschiedliche Dämmstandards des Referenzgebäudes in Abhängigkeit des Nutzerverhaltens und der Berechnungsmethode (Normberechnung vs. dynamische Simulation).

	SIA 380/1 Berechnung	TRNSYS Simulation	TRNSYS Simulation	TRNSYS Simulation
Nutzerverhalten	Ideal		Real	Differenz Ideal vs. Real
Neubau (MuKE n 2014)	33.5 kWh/m ²	24.9 kWh/m ²	51.0 kWh/m ²	26.1 kWh/m ² (+105%)
Altbau ⁸	150.1 kWh/m ²	134.3 kWh/m ²	177.3 kWh/m ²	43.0 kWh/m ² (+32%)

⁸ Beim realistischen Nutzerverhalten für den Altbau wurde als Sollraumtemperatur 22 °C angenommen und damit ein Grad weniger gegenüber dem Neubau. Dies weil unterschiedliche Studien zeigen, dass in älteren Wohnhäusern tendenziell die Raumtemperaturen tiefer sind [13].

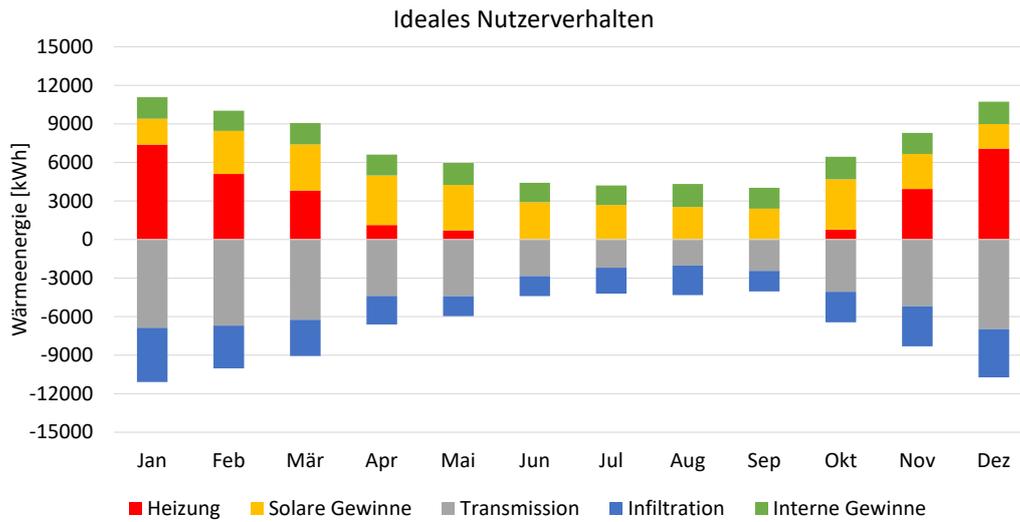


Abbildung 48: Monatliche Wärmeenergiebilanz des Neubaus mit idealem Nutzerverhalten nach SIA 380/1.

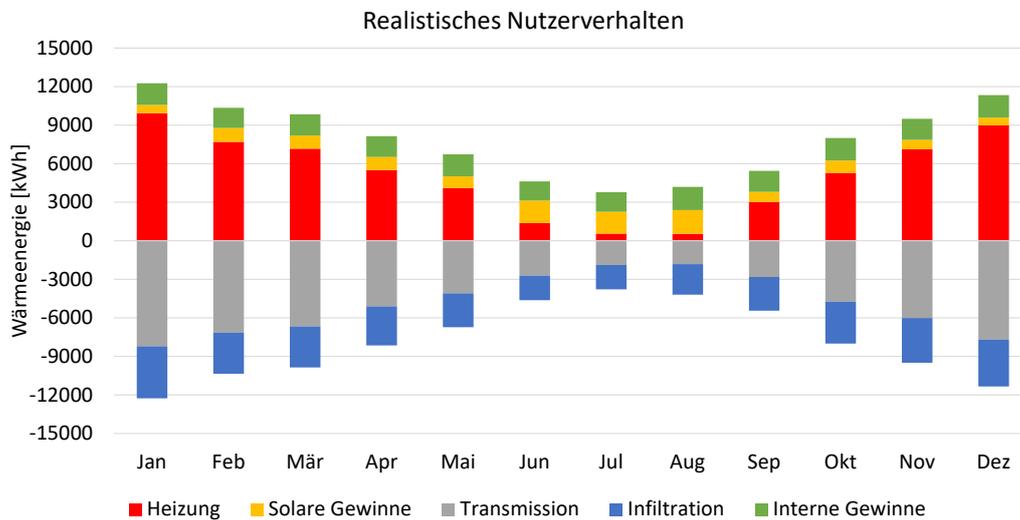


Abbildung 49: Monatliche Wärmeenergiebilanz des Neubaus mit realistischem Nutzerverhalten.

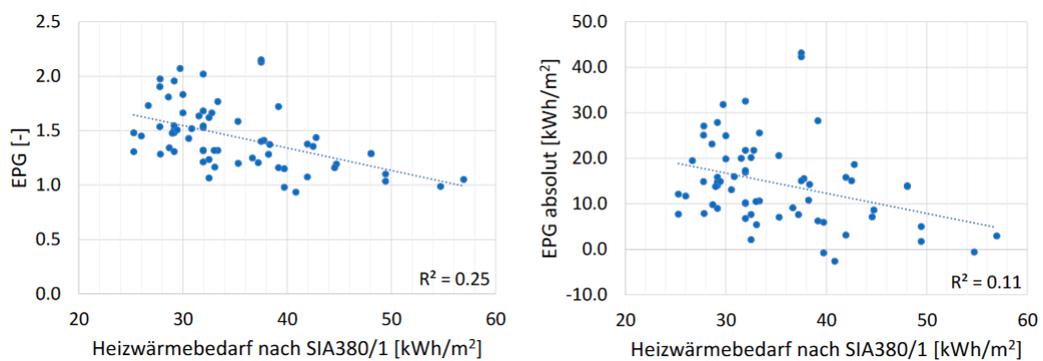


Abbildung 50: Relativer und absoluter Mehr- oder Minderverbrauch («Energy Performance Gap») in Abhängigkeit der Gebäudehüllenqualität in Form des berechneten Heizwärmebedarfs. Messdaten von real gemessenen Gebäuden aus der ImmoGap Studie [2].

Aufgrund des realistischen Nutzerverhaltens erhöht sich die benötigte Heizleistung bei einer Aussentemperatur von -10 °C um 25% (s. Abbildung 51). Jedoch ist diese mit einer spezifischen Leistung von 17 W/m^2 bezogen auf die EBF immer noch in einem plausiblen Bereich, was ein Hinweis darauf ist, dass trotz idealem Wärmeabgabesystem⁹ keine unrealistischen Leistungspeaks entstehen. Weiter ist ersichtlich, dass das Bestimmtheitsmass (R^2) für das realistische Nutzerverhalten höher ist als für das ideale Nutzerverhalten, was in Abbildung 51 ersichtlich ist. Ein hohes Bestimmtheitsmass kann auch bei den realen Messdaten festgestellt werden (s. Abbildung 52), was darauf hindeutet, dass zum Beispiel die Solarstrahlung, aufgrund von aktiven Sonnenstoren, wenig Einfluss hat, da der Wärmebedarf überwiegend von der Aussentemperatur abhängig ist (hohes R^2)¹⁰. In Abbildung 53 sind die stündlichen Innenraumtemperaturen der Jahressimulationen für das ideale und realistische Nutzerverhalten dargestellt. Damit kann aufgezeigt werden, dass das realistische Nutzerverhalten überwiegend die Sollwerte erreicht.

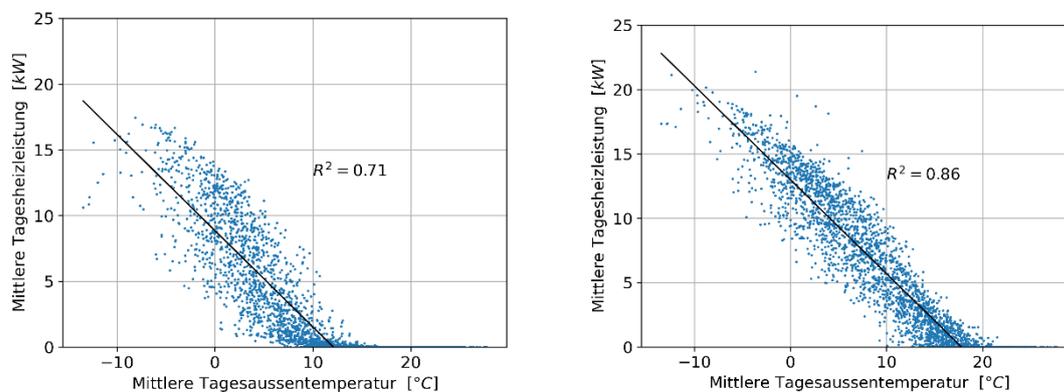


Abbildung 51: Leistungskennlinie der Simulationen mit idealem Nutzerverhalten nach SIA 380/1 (links) und mit dem realistischen Nutzerverhalten (rechts) für die Klimadaten von 2009-2015 und 2018.

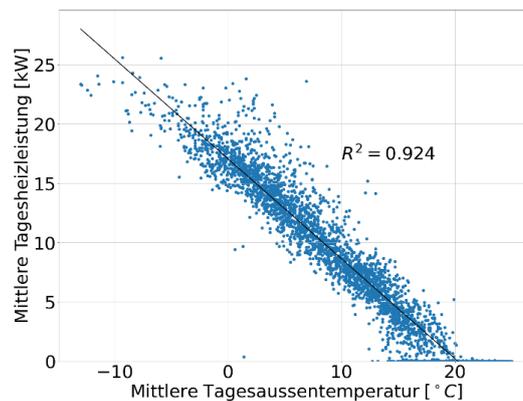


Abbildung 52: Leistungskennlinie der real gemessenen Mehrfamilienhäuser (Anzahl: 36) für die Klimadaten von 2009-2015 und 2018.

⁹ In den Simulationen wurde vereinfacht ein ideales Wärmeabgabesystem gewählt, was eine unbegrenzte Leistung hat und keine Trägheit im Vergleich zu einer Simulation mit Fussbodenheizung.

¹⁰ Weiterführende Informationen zu verschiedenen Einflussfaktoren auf den Gebäudeheizwärmebedarf sind im BFE Projekt KliKo aufgeführt. Das Projekt KliKo wird voraussichtlich Ende 2023 abgeschlossen und veröffentlicht.

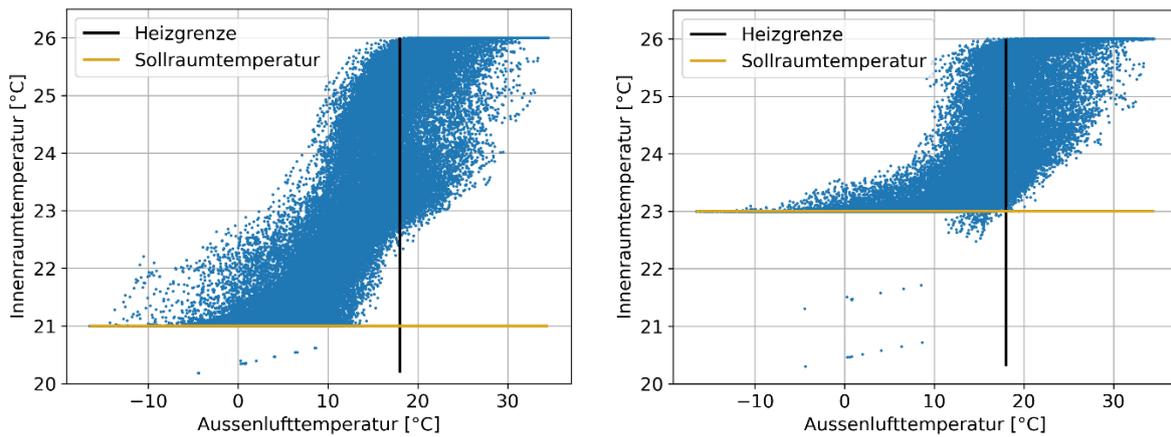


Abbildung 53: Stündliche Innenraumtemperatur in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur für die Jahressimulation mit idealem Nutzerverhalten links und die Jahressimulation mit realistischem Nutzerverhalten rechts.

Ein Aspekt, welcher nicht berücksichtigt wurde, ist die Fassadenorientierung und damit ein von der Orientierung abhängiges Fensteröffnungsverhältnis und Verschattungsverhältnis. Es ist anzunehmen, dass Unterschiede im Verhalten für nord- und südorientierte Fenster bestehen, jedoch ist die Validierung über die Messdaten gut genug ohne weitere Parameter hinzuzufügen. Zusätzliche Parameter würden entsprechend auch die Methode komplizierter machen.

3.4.2 Einfluss der einzelnen Parameter

Um den Einfluss der einzelnen Parameter auf die Simulationsergebnisse zu untersuchen, wurden diese einzeln variiert. Dabei wurde, wenn möglich von der idealen Simulation nach SIA 380/1 ausgegangen.

Abbildung 54 zeigt den Einfluss der unterschiedlichen Sollraumtemperaturen auf die relative und absolute Energiesignatur. Es ist klar ersichtlich, dass die Sollraumtemperatur einen sehr starken Einfluss auf die Ergebnisse hat. Wird eine Temperatur von 23°C ($T_{sp,3}$) genommen, liegen beide Kurven schon sehr nahe bei der Messung.

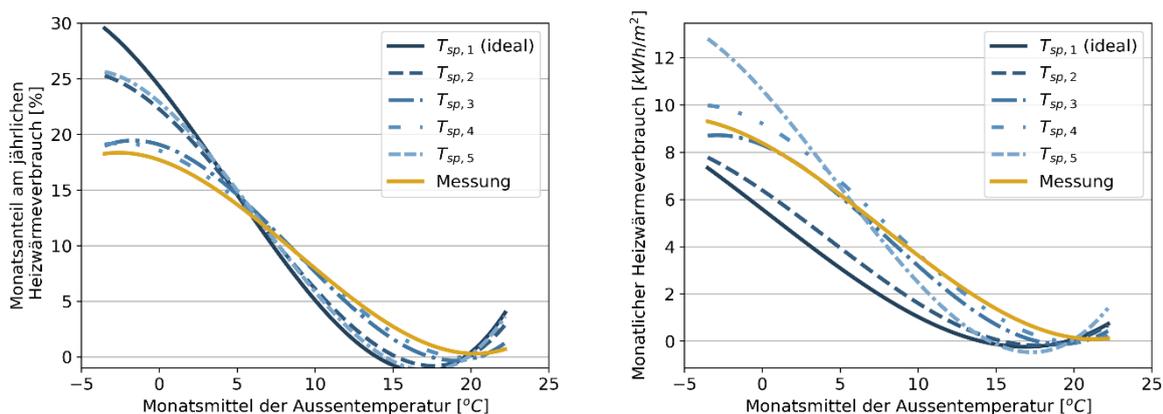


Abbildung 54: Monatlicher Anteil am jährlichen Heizwärmeverbrauch für alle untersuchten Jahre in Abhängigkeit von der Temperatur, verglichen mit realen Messwerten. Links: Relative Energiesignatur. Rechts: Absolute Energiesignatur spezifisch auf die Energiebezugsfläche.

Wird der g-Wert Multiplikationsfaktor variiert, so zeigt sich eine eher kleine Abhängigkeit. Insbesondere beim idealen Nutzerverhalten (wo wenig verschattet wird) hat dieser Wert einen sehr kleinen Einfluss (siehe Abbildung 55). Wird von der Parameterkombination mit dem tiefsten multiplizierten RMSE ausgegangen (siehe Abbildung 56), so ist der Einfluss von f_g aufgrund der stärkeren Verschattung etwas grösser, insgesamt jedoch immer noch eher klein.

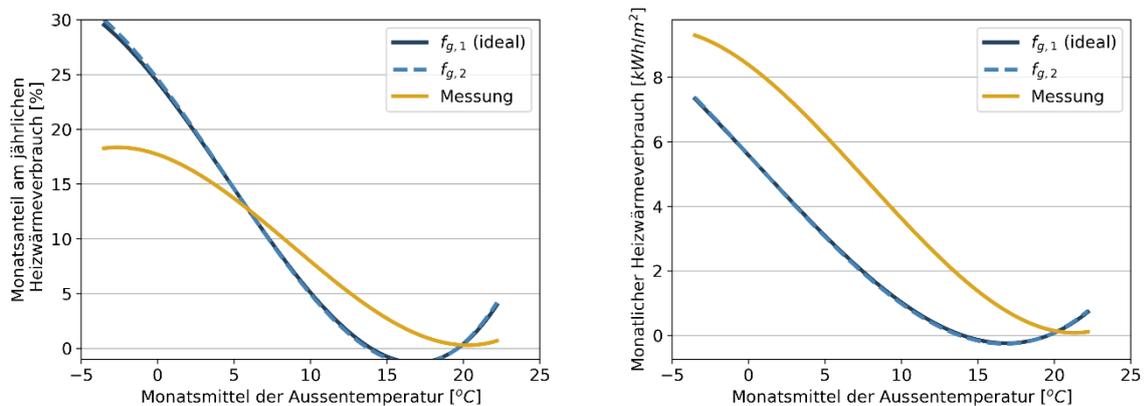


Abbildung 55: Monatlicher Anteil am jährlichen Heizwärmeverbrauch für alle untersuchten Jahre in Abhängigkeit vom g-Multiplikationsfaktor, verglichen mit realen Messwerten. Links: Relative Energiesignatur. Rechts: Absolute Energiesignatur spezifisch auf die Energiebezugsfläche.

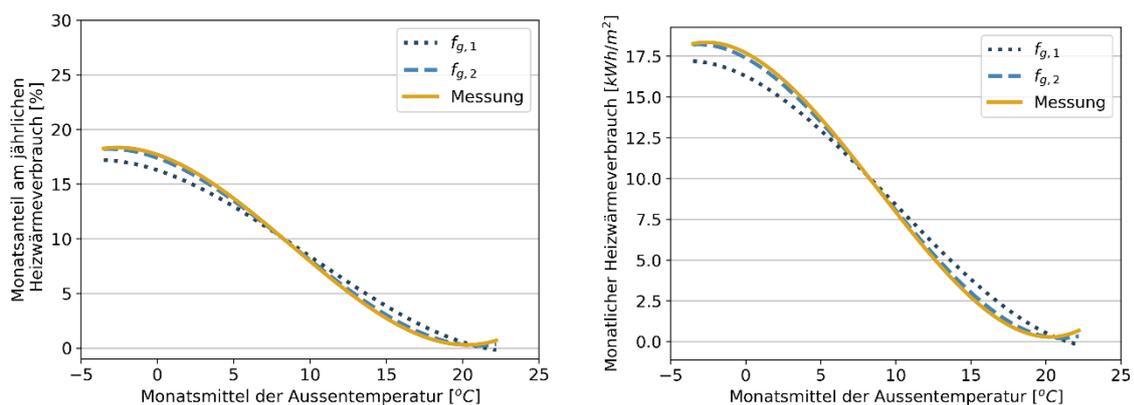


Abbildung 56: Monatlicher Anteil am jährlichen Heizwärmeverbrauch für alle untersuchten Jahre in Abhängigkeit vom g-Multiplikationsfaktor, verglichen mit realen Messwerten. Alle anderen Faktoren entsprechen der Kombination mit dem kleinsten multiplizierten RMSE. Links: Relative Energiesignatur. Rechts: Absolute Energiesignatur spezifisch auf die Energiebezugsfläche.

Der Einfluss der Verschattung ist deutlich ersichtlich in Abbildung 57. Dabei ist insbesondere der Unterschied zwischen idealem Nutzerverhalten nach SIA380/1 und den untersuchten Variationen sehr deutlich.

Wie sich die unterschiedlichen Fensterlüftungsarten auf die Simulationen auswirken, wird in Abbildung 58 dargestellt. Die anderen Parameter wurden entsprechend dem idealen Nutzerverhalten gewählt, wobei die Infiltration nach Weber berechnet wurde. Die Unterschiede sind vor allem bei kalten Temperaturen sehr gross. Je mehr gelüftet wird, desto höher der Energieverbrauch.

Abbildung 59 zeigt die Unterschiede zwischen den Berechnungsmethoden nach Hall und nach Weber, wobei alle Parameter ausser der Fensterlüftungsrate ($f_{win,5}$) dem idealen Nutzerverhalten entsprechen. Die Berechnung nach Hall resultiert in deutlich grösserem Energieverbrauch.

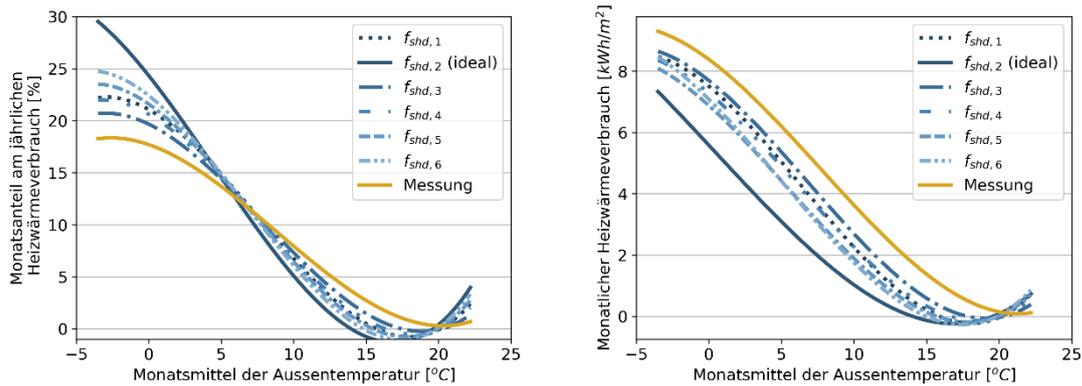


Abbildung 57 Monatlicher Anteil am jährlichen Heizwärmeverbrauch für alle untersuchten Jahre in Abhängigkeit von der Verschattung, verglichen mit realen Messwerten. Links: Relative Energiesignatur. Rechts: Absolute Energiesignatur spezifisch auf die Energiebezugsfläche.

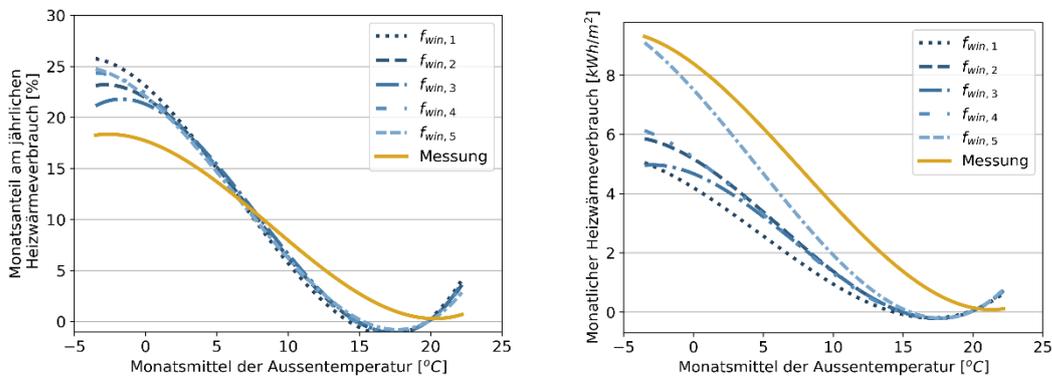


Abbildung 58 Monatlicher Anteil am jährlichen Heizwärmeverbrauch für alle untersuchten Jahre in Abhängigkeit von der Fensteröffnungsrate, verglichen mit realen Messwerten. Links: Relative Energiesignatur. Rechts: Absolute Energiesignatur spezifisch auf die Energiebezugsfläche.

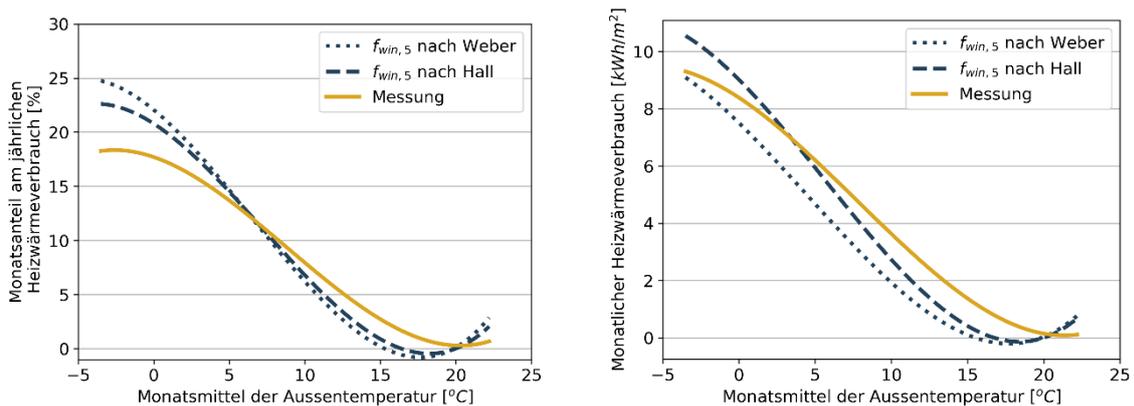


Abbildung 59 Monatlicher Anteil am jährlichen Heizwärmeverbrauch für alle untersuchten Jahre in Abhängigkeit vom Luftvolumenstrommodell, verglichen mit realen Messwerten. Alle Parameter ausser der Fensterlüftungsrate ($f_{win,5}$) entsprechen dem idealen Nutzerverhalten. Links: Relative Energiesignatur. Rechts: Absolute Energiesignatur spezifisch auf die Energiebezugsfläche.

Die Auswertung der Variation von einzelnen Parametern zeigt, dass diese nur ungenügend die Zusammenhänge zwischen Nutzerverhalten und Heizwärmebedarf erklären kann. Es bedarf einer Parameteranalyse, welche die Wechselwirkung zwischen den Parametern mitberücksichtigt, weshalb diese hohe Anzahl an Simulationen im Projekt VentSol resultiert. Es ist deshalb auch nicht möglich Aussagen zu machen, bei welchen nur einzelne Elemente

(Fensteröffnung, Verschattung oder Raumtemperatur) aus dem Benutzerverhalten untersucht werden, da diese einerseits eine starke Abhängigkeit voneinander haben und andererseits reale Energiemessdaten von Gebäuden immer alle Effekte enthalten. Eine detaillierte Analyse der einzelnen Effekte ist nur möglich, wenn man reale Messdaten mit einem digitalen Zwilling des Gebäudes in Echtzeit abgleichen würde und anschliessend eine gezielte Parametervariation durchführen würde.



4 Schlussfolgerungen

4.1 Messkampagne

Für fünf Wohngebäude an drei Standorten konnten detaillierte Daten zu Fensteröffnung, Fensterverschattung, sowie Innenraumklima und Heizwärmeverbrauch erfasst werden. Zur Bestimmung von Fensteröffnungen und Fensterverschattung wurde eine neuartige Methode der automatischen Bilderkennung eingesetzt. Das Erkennen von durch Storen verschatteten Fenstern auf fotografischen Aufnahmen ist damit gut gelungen und könnte auch in Zukunft eine vielversprechende Methode sein. Die automatische Erkennung von offenen Fenstern auf den niedrig aufgelösten Wärmebildern war hingegen nicht zufriedenstellend. Damit letzteres zuverlässig gelänge, müsste insbesondere mit besseren IR-Kameras gearbeitet werden, was jedoch deutlich höhere Kosten bedeuten würde. Es hat sich zudem als sehr schwierig erwiesen, bei der Bildauswertung mit den diversen Störfaktoren umzugehen. Deshalb ist zur Ermittlung von Fensteröffnungen der Einsatz von direkt an den Fenstern angebrachten Sensoren (was etwa in einem Neubau realisiert werden könnte) letztlich die besser geeignete Methode.

Anhand der Messdaten konnte eine klare Zunahme sowohl der Fensteröffnungsanteile wie auch der Fensterverschattungsanteile mit zunehmender Aussenlufttemperatur festgestellt werden. Im Fall der Fensteröffnungen ist der ermittelte Zusammenhang, da nur ausgewählte Fenster ausgewertet werden konnten, als qualitativ zu betrachten. Jedoch ist er in gutem Einklang mit Resultaten aus einer früheren Studie. Bei den Fensterverschattungsanteilen konnte gezeigt werden, dass diese auch bei tiefen Aussenlufttemperaturen verbreitet hohe Werte $> 40\%$ aufweisen. Diese Erkenntnisse verstärken die Grundlagen für das durch diese Studie vorgeschlagene realistische Nutzerprofil.

Es hat sich in dieser Studie einmal mehr gezeigt, dass die Raumtemperaturen deutlich höher sind als oft angenommen wird. So liegen diese auch in den Wintermonaten verbreitet im Bereich von 23 °C . Auch die mit höheren Raumtemperaturen einhergehende starke Erhöhung des Heizbedarfs konnte für die erfassten Gebäude quantifiziert werden. Die genauen Gründe für die hohen Raumlufttemperaturen konnten nicht ermittelt werden, jedoch kann ein fehlender hydraulischer Abgleich ausgeschlossen werden. Vermutlich spielt die Architektur (z.B. Fenstergrösse) eine wesentliche Rolle, welche zu Komforteinbussen führen, welche über höhere Raumtemperaturen kompensiert werden. Die Umfrageresultate bekräftigten diesen Umstand.

4.2 Befragung

Durch die Kollaboration mit den Geschäftsstellen und durch die Präsenz des Forschungsteams vor Ort konnte in den Siedlungen ZH und HO eine Befragung mit hoher Rücklaufquote realisiert werden. Aufgrund dieser hohen Rücklaufquote sind die Erkenntnisse aus der Befragung breit abgestützt.

Die Befragung zeigt, dass sich die Bewohner/innen beider Siedlungen für das Thema Energiesparen interessieren und über ein Problembewusstsein verfügen. Bei den Bewohnern/innen der Siedlung ZH ist dieses Problembewusstsein noch etwas ausgeprägter, was vermutlich auf die urbane, sehr gut gebildete Mieterschaft zurückzuführen ist und auf die Werte der Eigentümerschaft.

Beim Vergleich zwischen den von den Bewohnern selbstgemessenen und gefühlten Temperaturen zeigen sich keine oder nur geringe Zusammenhänge. Das bedeutet, dass

beispielsweise empfundenes Unbehagen nicht mit tiefen Raumlufftemperaturen korreliert. Dies deutet darauf hin, dass das Temperaturempfinden noch von weiteren Faktoren abhängt und deshalb nicht in jedem Fall ausreichend ist für die Beurteilung des Komforts. Interessant sind in diesem Zusammenhang, die unterschiedlichen Wahrnehmungen in den zwei Siedlungen: in ZH ist es den Bewohnern/innen im Winter eher zu warm und in HO eher zu kalt. Gemessen ist die Durchschnittstemperatur in HO aber höher als in ZH. Ein möglicher Grund für diese Diskrepanz sind Unterschiede in den Bauweisen zwischen den Siedlungen ZH und HO. In HO könnten die grösseren Fensterflächen dazu führen, dass Temperaturen im Winter als niedriger empfunden werden, als sie tatsächlich sind (Differenz zwischen konvektiver und operativer Temperatur).

In der Siedlung ZH zeigt sich, dass die zwei Häuser mit den unterschiedlichen Lüftungssystemen zu Unterschieden bei der Wahrnehmung von Luftqualität und Luftfeuchte führen: Im Haus ohne Lüftung wird die Luft stickiger empfunden als im Haus mit Lüftung. Dafür empfinden Bewohner/innen im Haus mit der Lüftung die Luft als trockener im Vergleich zu Bewohner/innen im Haus ohne Lüftung.

Optimierungspotenziale gibt es bei der Nutzung der Sonnenstoren und bei Kippfenstern bzw. beim Dauerlüften im Winter.

- In beiden Wohnsiedlungen halten ca. ein Drittel der Bewohner/innen die Sonnenstoren im Winter tagsüber geschlossen, und verhindert damit, dass zusätzliche Sonnenwärme ins Gebäudeinnere gelangt. Wichtige Gründe für das Schliessen der Storen sind die Reduktion des Lichteinfalls oder Blend- und Sichtschutz.
- Auch beim dauerhaften Lüften gibt es Verbesserungspotenziale. Zwischen einem Viertel und einem Dritten der Befragten lassen Fenster im Winter über einen längeren Zeitraum geöffnet. Hier ist die Zufuhr von frischer Luft ein zentrales Bedürfnis.

4.3 Realistisches Nutzerprofil

Mit der Definition des realistischen Nutzerprofils für Wohnbauten bezüglich Raumsolltemperatur, Fensteröffnung und Fensterverschattung, konnte das Hauptziel dieses Projektes erreicht werden. Dieses Profil kann nun für dynamische Gebäudesimulationen oder statischen Berechnungen verwendet werden, um Ergebnisse zu erzeugen, die näher an der Realität (Messungen) sind im Vergleich zum «idealen» Nutzerprofil, welches sich auf aktuelle Normen bezieht. Beispielsweise können die Erkenntnisse aus der vorliegenden Studie dazu genutzt werden, die Lüftungswärmeverluste und den Ausnutzungsgrad für Wärmeeinträge in der SIA 380/1 Berechnung so anzupassen, dass diese von der jeweiligen Monatsaussentemperatur abhängig sind. **Wir schlagen vor, dass in Zukunft zumindest die Möglichkeit geboten wird, dass in der SIA 380/1-Berechnung im Fall «Optimierung / Messwertvergleich» die Option besteht, ein realistisches Nutzerverhalten auszuwählen.**

Für dynamische Gebäudesimulationen besteht nun die Möglichkeit das realistische Nutzerverhalten auch auf Stundenbasis zu implementieren, da das Nutzerverhalten vereinfacht über die mittlere Tagesaussentemperatur bestimmt werden kann. Die entsprechenden Gleichungen sind im Bericht definiert. Damit ist diese Methode unabhängig von der Zeit, dem Standort und dem Klima. **Im Gegensatz zu den Methoden aus der Literatur ist dieser Ansatz einfach umzusetzen und kann praktisch in jedes Simulationsprogramm integriert werden.**

Die Auswertung der Parameterstudie zeigt, dass eine Auswertung von einzelnen Parametern nicht zum Ziel führt. Für die Bestimmung des realistischen Energieverbrauchs eines Wohngebäudes muss die Wechselwirkung zwischen den Parametern (Nutzerverhalten)



mitberücksichtigt werden, was wiederum eine umfangreiche Parameterstudie mit einigen hundert Simulationen ergibt. Damit die Parameterstudie zu sinnvollen Resultaten führt, ist es unabdingbar, dass Messresultate von realen Gebäuden miteinbezogen werden.

Mit der vorliegenden Studie konnte bestätigt werden, dass ein grosser Teil des «Energy Performance Gaps» wie im BFE Projekt ImmoGap beschrieben, über das realistische Nutzerverhalten erklärt werden kann. Die Studie SolSimCC [15] zeigt, dass die Berücksichtigung des realen Nutzerverhaltens auch einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Solarsystemen haben kann. Wobei für diese Studie nicht das neu definierte Benutzerprofil angewendet wurde, sondern eine Annäherung basierend auf ersten Resultaten aus VenTSol.

5 Ausblick und zukünftige Umsetzung

Die Resultate werden nun einem breiten Fachpublikum präsentiert, dies in erster Linie der Begleitgruppe, die aus unterschiedlichen Stakeholdern besteht. Geplant ist weiter eine Präsentation am Brenet Stauts Seminar und die Publikation von Fachartikeln in den Zeitschriften HK Gebäudetechnik und Swiss Engineering. Weiter wird der Bericht der SIA 380/1 und der SIA 380 Kommission proaktiv zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich werden die Resultate im neuen Minergie-Monitoring verwendet, um die gemessenen Daten zu plausibilisieren.

Offene Forschungsfragen

Nachfolgend sind einige offene Forschungsfragen aufgeführt, die sich aufgrund der Resultate aus VenTSol ergeben haben:

- Ein Vergleich zwischen Altbauten und Neubauten wäre interessant, um zu sehen, wie sich die Bauweise auf das Verhalten auswirkt. Das hier vorgestellte realistische Nutzverhalten ist vorwiegend für Neubauten und Sanierungen entwickelt worden. Ein Modell für Altbauten zu entwickeln ist herausfordernd, da eine grosse Anzahl an Messdaten in hoher Auflösung im Vergleich zu Neubauten, die häufiger mit einem Monitoring ausgerüstet sind, fehlen.
- Weitere Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen Bauweise (z.B. Fensterfläche) und Komfort wären wünschenswert, denn in VenTSol ist deutlich geworden, dass Unbehagen über höhere Raumtemperaturen kompensiert wird. Die Tendenz bei neuen Wohnhäusern hohe Raumtemperaturen einzustellen, ist aus mehreren Studien deutlich geworden. Solche Erkenntnisse könnten für die Sensibilisierung im Entwurf und Design beigezogen werden.
- Wie wirkt sich eine Komfortwohnungs Lüftung auf das Nutzerverhalten aus? Gibt es wesentliche Unterschiede, die einen Einfluss auf den Energieverbrauch ausüben? Diesen Fragen wurde in unterschiedlichen Studien nachgegangen, jedoch wurden keine systematischen Aufnahmen gemacht, sondern nur sporadische Momentaufnahmen. In ähnlicher Weise stellt sich die Frage, ob die Kippfunktion bei den Fenstern einen Einfluss darauf hat, wie häufig und wie lange diese offen stehen.
- Noch keine Untersuchungen gibt es für Heizwärme dominierte Länder bezüglich des Nutzerverhaltens im Sommer. Da Kühlen in Zukunft immer relevanter wird, wäre es gut zu wissen wie das realistische Nutzerverhalten im Sommer bezüglich Nachtauskühlung und Fensterverschattung am Tag ausfällt.
- Einfluss des realen Nutzerverhaltens auf unterschiedliche Gebäudetechniksysteme wie zum Beispiel Luft-Wasser-Wärmepumpe, Batteriesysteme, Komfortlüftung etc.



6 Literaturverzeichnis

- [1] Mahdavi A, Tahmasebi F, Gunay B, O'Brien W, D'Oca S. Annex 66: Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings - Technical Report: Occupant Behavior Modeling Approaches and Evaluation. 2017.
- [2] Mojic I, Luzzatto M, Haller M, Lehmann M, Benz M, Van Velsen S. ImmoGap - Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäuser. Rapperswil: SPF Institut für Solartechnik, HSR Hochschule für Technik Rapperswil; 2018.
- [3] Rohrer J, Sperr N. Die Folgen der Dekarbonisierung des Energiesystems auf die Schweizer Stromversorgung. ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften; 2018.
- [4] Panos E, Kannan R. Challenges and Opportunities for the Swiss Energy System in Meeting Stringent Climate Mitigation Targets. Limiting Global Warming to Well Below 2°C: Energy System Modelling and Policy Development. Lecture Notes in Energy, vol 64, Cham: Springer; 2018.
- [5] SIA 380/1:2009: Thermische Energie im Hochbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; 2009.
- [6] Andersen RV. Occupant Behaviour with regard to control of the indoor environment. Denmark: Technical University of Denmark; 2009.
- [7] Kriesi R. Reales Lüftungsverhalten in Wohnungen mit unterschiedlichen Lüftungssystemen. Zürich: AHB Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik; 2012.
- [8] Carisch L, Ménard M, Mühlebach M, Talattad M. SolarGap - Auswirkung von Sonnenschutzsystemen auf den Heizwärmebedarf von Gebäuden. Zürich: Lemon Consult; 2018.
- [9] Redmon J, Farhadi A. Yolov3: An incremental improvement 2018.
- [10] Bosshard I, Calabrese T, Cramer S, Sanchez Carbonell D, Haller M. Reference Framework for Building and System Simulations: Multifamily house. Rapperswil: SPF Institut für Solartechnik; 2022.
- [11] Weber A. Modell für natürliche Lüftung durch Kippfenster. Stuttgart, Germany: TRNSYS Usertag; 1997.
- [12] Hall M. Untersuchungen zum thermisch induzierten Luftwechselfpotential von Kippfenstern. Bauphysik 2004;26:109–15.
- [13] Schröder F, Gill B, Güth M, Teich T, Wolff A. Entwicklung saisonaler Raumtemperaturverteilungen von klassischen zu modernen Gebäudestandards - Sind Rebound-Effekte unvermeidbar? Bauphysik 2018;40:151–60.
- [14] Cialdini RB, Kallgren CA, Reno RR. A Focus Theory of Normative Conduct: A Theoretical Refinement and Reevaluation of the Role of Norms in Human Behavior. In: Zanna MP, editor. Advances in Experimental Social Psychology, vol. 24, Academic Press; 1991, p. 201–34. [https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(08\)60330-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60330-5).
- [15] Schmidli J, Bosshard I, Battaglia M, Haller M, Carbonell D. SolSimCC - Einfluss von Klimawandel und Nutzerverhalten auf das Kosten/Nutzenverhältnis solarer Energieerzeugung am Gebäude. SPF Institut für Solartechnik; 2020.

Annex A: Befragung

Fragebogen Siedlung ZH

Anmerkungen:

- Zur Anonymisierung wird die Siedlung ZH genannt. Das Logo der Eigentümerschaft wurde aus dem Briefkopf entfernt.
- Die meisten Bewohner/innen aus der Siedlung ZH nutzten den Online-Fragebogen, der gleich aufgebaut war wie die hier abgedruckte Papier-Version.

Befragung in der Siedlung ZH zum Thema Heizen und Lüften

Guten Tag

Uns interessiert es, wie sie zuhause Energie nutzen. Darum führen wir gemeinsam mit der Hochschule Rapperswil und xxx eine Befragung durch.

Bitte beachten Sie Folgendes:

- Es gibt keine richtigen und falschen Antworten. Wir sind an Ihrer persönlichen Meinung bzw. Einschätzung interessiert.
- Damit wir mit dem Projekt aussagekräftige Ergebnisse erhalten, verknüpfen wir die Angaben aus dem Fragebogen und unsere Messungen im Rahmen des Projekts. Alle Auswertungen werden anonymisiert und lassen keinerlei Rückschlüsse auf Einzelpersonen oder Haushalte zu.
- Die Resultate werden ausschliesslich für wissenschaftliche, nicht-kommerzielle Forschung und Lehre verwendet.
- Damit wir aussagekräftige Ergebnisse erhalten ist es wichtig, dass möglichst viele Bewohner/innen den Fragebogen ausfüllen. Wir sind an allen Meinungen interessiert, darum erhalten Sie unter Umständen mehrere Fragebogen pro Haushalt.
- Bitte beachten Sie jeweils die Vorder- und Rückseite des Fragebogens.
- Bitte füllen Sie den Fragebogen bis Ende der Woche aus und schicken Sie ihn an uns zurück mit dem beiliegenden frankierten Rückantwortcouvert.
- Das Ausfüllen des Fragebogens dauert ca. 10-15 Minuten

Für Ihre Mithilfe und für Ihre wertvolle Zeit danken wir Ihnen herzlich!

Bei Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung:

Meta Lehmann und Corinne Moser
econcept
Gerechtigkeitsgasse 20
8002 Zürich

Meta.lehmann@econcept.ch
Corinne.moser@econcept.ch

econcept

Forschung / Beratung / Evaluation

 **HSR**
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL
FHO Fachhochschule Ostschweiz



Fragen zur Raumtemperatur und zum Lüften

1.1 Wie zufrieden sind Sie momentan mit der Temperatur in Ihrer Wohnung?

	viel zu kalt	etwas zu kalt	gerade richtig	etwas zu warm	viel zu warm
Die Temperatur in meiner Wohnung ist ...	<input type="radio"/>				

1.2 Im Winter gibt es kalte und warme Tage: Wie beurteilen Sie die Temperatur in Ihrer Wohnung je nachdem wie kalt oder warm es draussen ist?

	viel zu kalt	etwas zu kalt	gerade richtig	etwas zu warm	viel zu warm
Wenn es im Winter draussen <u>sehr kalt</u> ist, ist es in meiner Wohnung ...	<input type="radio"/>				
Wenn es im Winter draussen <u>eher warm</u> ist, ist es in meiner Wohnung ...	<input type="radio"/>				

1.3 Wie zufrieden sind Sie momentan (d.h. im Winter) mit der Luftqualität in Ihrer Wohnung?

	viel zu feucht	etwas zu feucht	gerade richtig	etwas zu trocken	viel zu trocken
Die Luft in meiner Wohnung ist ...	<input type="radio"/>				

1.4 Haben Sie im in Ihrer Wohnung Winter regelmässig Luftbefeuchter im Betrieb?

<input type="radio"/> Ja, ich habe bzw. wir haben <u>einen</u> Luftbefeuchter im Betrieb
<input type="radio"/> Ja, ich habe bzw. wir haben <u>zwei</u> Luftbefeuchter im Betrieb
<input type="radio"/> Ja, ich habe bzw. wir haben <u>drei oder mehr</u> Luftbefeuchter im Betrieb
<input type="radio"/> Nein
<input type="radio"/> Weiss nicht

1.5 Bitte geben Sie an, wie stark Sie den folgenden Aussagen zustimmen.

	Stimme nicht zu	Stimme eher nicht zu	Teils-teils	Stimme eher zu	Stimme zu
Ich bin mit der Luftqualität in der Wohnung zufrieden.	<input type="radio"/>				
In der Wohnung ist die Luft oft stickig (abgestanden), wenn die Fenster geschlossen sind.	<input type="radio"/>				
In der Wohnung spüre ich oft Zugluft.	<input type="radio"/>				

1.6 Messen Sie in Ihrer Wohnung regelmässig die Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit?

	Ja	Nein
Raumtemperatur (z.B. mit einem Thermometer)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Luftfeuchtigkeit (z.B. mit einem Hygrometer)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

1.7 Wie warm ist es jetzt im Februar/ März üblicherweise bei Ihnen im Wohnzimmer? Bitte geben Sie die Temperatur an und kreuzen Sie an, ob es sich um eine Schätzung oder Messung handelt.

	Temperatur	Das ist eine Schätzung	Das ist eine Messung
Temperatur im Wohnzimmer	_____ °C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

1.8 Nehmen Sie selbst Einstellungen an der Raumtemperaturregelung vor, d. h. bedienen Sie die Heizungsregelung in den Zimmern selbst?

<input type="radio"/> Ja → bitte weiter zu Frage 1.9	
<input type="radio"/> Nein, nie → bitte Folgefrage beantworten	
Falls Sie nein angekreuzt haben, kreuzen Sie bitte an, weshalb Sie die Heizung nicht regeln (mehrere Antworten möglich)	
Bitte alle zutreffende Gründe ankreuzen	
Ich weiss nicht, <u>wo</u> ich die Heizung einstellen kann	<input type="radio"/>
Ich weiss nicht, <u>wie</u> ich die Heizung einstellen kann	<input type="radio"/>
Die Heizungsregelung funktioniert nicht	<input type="radio"/>
Dafür ist jemand anderes in meinem Haushalt zuständig	<input type="radio"/>
Anderer Grund: bitte angeben: _____	<input type="radio"/>

1.9 Was machen Sie aktuell, wenn es Ihnen in Ihrer Wohnung zu kalt wird? Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Antworten an. (mehrere Antworten möglich)

	Ja
Ich drehe den Heizungsregler in den entsprechenden Zimmern hoch	<input type="radio"/>
Ich bitte den Hauswart (<i>Namen eingefügt</i>), die Heizung im Gebäude generell höher einzustellen	<input type="radio"/>
Ich ziehe zusätzliche Kleidung an	<input type="radio"/>
Ich wende mich an die Geschäftsstelle	<input type="radio"/>
Ich benutze zusätzliche Decken	<input type="radio"/>
Ich schalte ein Heizgerät ein (z.B. Elektro-Öfeli)	<input type="radio"/>
Ich unternehme nichts	<input type="radio"/>
Anderes, nämlich: _____ (bitte angeben)	<input type="radio"/>



1.10 Was machen Sie aktuell, wenn es Ihnen in Ihrer Wohnung zu warm wird? Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Antworten an. (mehrere Antworten möglich)

	Ja
Ich drehe den Heizungsregler in den entsprechenden Zimmern runter	<input type="radio"/>
Ich trage weniger Kleidung	<input type="radio"/>
Ich bitte den Hauswart (<i>Namen eingefügt</i>), die Heizung im Gebäude generell tiefer einzustellen	<input type="radio"/>
Ich wende mich an die Geschäftsstelle	<input type="radio"/>
Ich öffne die Fenster	<input type="radio"/>
Ich unternehme nichts	<input type="radio"/>
Anderes, nämlich: _____ (bitte angeben)	<input type="radio"/>

1.11 Haben Sie (oder jemand anderes in Ihrem Haushalt) beim Einzug oder bei anderer Gelegenheit Informationen zum Fensterlüften erhalten?

<input type="radio"/> Ja, ich kann mich an die Informationen erinnern
<input type="radio"/> Ja, aber ich erinnere mich nicht mehr an die Informationen
<input type="radio"/> Nein
<input type="radio"/> Weiss nicht

1.12 Sind bei Ihnen im Winter Fenster manchmal über einen längeren Zeitraum gekippt geöffnet?

<input type="radio"/> Nein, das kommt praktisch nie vor → bitte weiter zu Frage 1.13	
<input type="radio"/> Ja, das kann vorkommen → bitte Folgefragen beantworten	
<input type="radio"/> Ja, das kommt oft vor → bitte Folgefragen beantworten	
Falls Sie ja angekreuzt haben, kreuzen Sie bitte die zutreffenden Gründe an: Die Fenster sind aus den folgenden Gründen gekippt (mehrere Antworten möglich):	
	Bitte alle zutreffende Gründe ankreuzen
Damit Essens- oder sonstige Gerüche verschwinden	<input type="radio"/>
Für frische Luft in Bad / WC	<input type="radio"/>
Um frische Luft zuzuführen (z.B. beim Schlafen)	<input type="radio"/>
Weil es zu warm ist	<input type="radio"/>
Weil ich es vergesse, die Fenster wieder zu schliessen	<input type="radio"/>
Um eine Verbindung nach draussen zu haben (Geräusche etc.)	<input type="radio"/>
Anderer Grund: bitte angeben: _____	

1.13 Die Komfortlüftung in Ihrer Wohnung kann nicht reguliert werden. Haben Sie deshalb gewisse Massnahmen ergreifen müssen? Bitte kreuzen Sie alle Massnahmen an (mehrere Antworten möglich)

→ Diese Frage erhalten nur die Bewohnenden von Gebäude A.

<input type="radio"/>	Ja, Möbel vor den Luftauslässen platziert
<input type="radio"/>	Ja, Betten so platziert damit kein Luftzug spürbar ist
<input type="radio"/>	Ja, Luftauslässe abgeklebt
<input type="radio"/>	Ja, etwas anderes: _____ (bitte angeben)
<input type="radio"/>	Nein
<input type="radio"/>	Weiss nicht

1.14 Betreffend der Luftzufuhr zu Schlafzimmern: Stehen bei Ihnen die Schlafzimmertüren nachts offen?

<input type="radio"/>	Nein, alle oder die meisten Schlafzimmertüren sind geschlossen.
<input type="radio"/>	Teils-teils: einige sind offen, andere sind geschlossen.
<input type="radio"/>	Ja, alle oder die meisten Schlafzimmertüren stehen offen
<input type="radio"/>	Weiss nicht

Fragen zur Benutzung der Storen

2.1 Sind tagsüber im Winter die Storen Ihrer Wohnung geschlossen?

<input type="radio"/>	Nein, fast nie oder nie → bitte weiter zu Frage 3.1
<input type="radio"/>	Ja, das kommt teilweise vor → bitte Folgefrage beantworten
<input type="radio"/>	Ja, das kommt oft vor → bitte Folgefrage beantworten
Falls Sie ja angekreuzt haben, kreuzen Sie bitte die zutreffenden Gründe an. Die Storen sind tagsüber aus den folgenden Gründen geschlossen (mehrere Antworten möglich):	
	Bitte alle zutreffende Gründe ankreuzen
<input type="radio"/>	Damit mich das Sonnenlicht nicht blendet.
<input type="radio"/>	Damit man mir nicht direkt in die Wohnung sieht.
<input type="radio"/>	Um den Lichteinfall zu reduzieren (z. B. zum Schlafen)
<input type="radio"/>	Damit es von der Sonne nicht zu heiss wird.
<input type="radio"/>	Weil ich diese Räume tagsüber nicht nutze
<input type="radio"/>	Wenn ich weggehe, schliesse ich die Storen
<input type="radio"/>	Weil ich vergesse, die Storen jeweils hochzudrehen
<input type="radio"/>	Anderer Grund: bitte angeben: _____



Ihre Ansichten zum Thema Energiesparen

3.1 Bitte nehmen Sie den folgenden Aussagen Stellung.

	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	teils-teils	stimme eher zu	stimme zu
Das Thema Energiesparen ist in meinem Alltag wichtig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich könnte im Alltag noch einiges an Energie einsparen, wenn ich mein Verhalten entsprechend ändern würde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Klimawandel ist ein ernst zu nehmendes Problem, gegen das wir als Gesellschaft aktiv werden müssen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu, im Alltag Energiespartipps dauerhaft umzusetzen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich würde nicht auf persönlichen Komfort verzichten, um Energie zu sparen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich weiss, bei welchen Tätigkeiten im Haushalt ich am meisten Energie verbrauche.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die meisten Menschen in meinem Umfeld gehen sparsam mit Energie um.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die meisten Menschen in meinem Umfeld erwarten von mir, dass ich sparsam mit Energie umgehe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ihr Haushalt

4.1 Wie viele Personen leben in Ihrer Wohnung (Sie eingeschlossen)?

Erwachsene über 65 Jahren:	Anzahl: ____
Erwachsene zwischen 19 und 65 Jahren	Anzahl: ____
Kinder oder Jugendliche zwischen 10 und 18 Jahren	Anzahl: ____
Kinder unter 10 Jahren	Anzahl: ____

4.2 Gibt es unter der Woche Tage, an denen tagsüber während mehreren Stunden alle Wohnungsbewohner/innen ausser Haus sind (z.B. zum Arbeiten, im Rahmen der Ausbildung, etc.)?

<input type="radio"/> Ja, an 1-2 Wochentagen
<input type="radio"/> Ja, an 3-5 Wochentagen
<input type="radio"/> Nein
<input type="radio"/> Keine Angabe

Angaben zu Ihrer Person

5.1 Ihr Geschlecht:

- Frau
- Mann
- Anderes, bzw. keine Angabe

5.2 Bitte geben Sie Ihren Jahrgang an (vier Ziffern, z.B. 1982):

Jahrgang: _____

5.3 Bitte kreuzen Sie Ihre höchste abgeschlossene Ausbildung an:

- kein Schulabschluss oder obligatorische Schulzeit
- Berufslehre, Berufsmittelschule, Vollzeitberufsschule, Handelsschule
- Berufsmatura, Maturitätsschule, Lehrerseminar, Diplom- und Wirtschaftsmittelschule
- Fachhochschule, Universität, ETH
- andere Ausbildung _____

5.4 Damit wir mit dem Projekt aussagekräftige Ergebnisse erhalten, möchten wir die Angaben aus dem Fragebogen und unsere Messungen im Rahmen des Projekts verknüpfen. Daher bitten wir Sie, uns ihren Namen, die Adresse und das Stockwerk ihrer Wohnung bekanntzugeben.

Die Auswertungen erfolgen selbstverständlich anonymisiert und lassen keine Rückschlüsse auf Einzelpersonen oder einzelne Wohnungen zu.

Name: _____ Vorname: _____
Strasse und Nr: _____ Stockwerk ihrer Wohnung: _____

Haben Sie Rückmeldungen oder Kommentare zur Befragung?

Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben, den Fragebogen auszufüllen



Fragebogen Siedlung HO und BE

Anmerkungen:

- Zur Anonymisierung werden die Siedlungen HO und BE genannt. Das Logo der Eigentümerschaft wurde aus dem Briefkopf entfernt.
- Die Befragung in den Siedlungen HO und BE wurde postalisch durchgeführt.

Befragung in der Siedlung HO zum Heizen und Lüften

Anrede: Sehr geehrter Herr XY, sehr geehrte Frau XY

Uns interessiert es, wie Sie zuhause Energie nutzen. Darum führen wir gemeinsam mit der Hochschule Rapperswil und xxx eine Befragung durch.

Bitte beachten Sie Folgendes:

- Es gibt keine richtigen und falschen Antworten. Wir sind an Ihrer persönlichen Meinung bzw. Einschätzung interessiert.
- Damit wir mit dem Projekt aussagekräftige Ergebnisse erhalten, verknüpfen wir die Angaben aus dem Fragebogen und unsere Messungen im Rahmen des Projekts. Alle Auswertungen werden anonymisiert und lassen keinerlei Rückschlüsse auf Einzelpersonen oder Haushalte zu.
- Die Resultate werden ausschliesslich für wissenschaftliche, nicht-kommerzielle Forschung und Lehre verwendet.
- Damit wir aussagekräftige Ergebnisse erhalten ist es wichtig, dass möglichst viele Bewohner/innen den Fragebogen ausfüllen. Wir sind an allen Meinungen interessiert, darum erhalten Sie unter Umständen mehrere Fragebogen pro Haushalt.
- Bitte beachten Sie jeweils die Vorder- und Rückseite des Fragebogens.
- Bitte füllen Sie den Fragebogen bis am 12. März 2020 aus und schicken Sie ihn an uns zurück mit dem beiliegenden bereits frankierten Rückantwortcouvert.
- Das Ausfüllen des Fragebogens dauert ca. 10-15 Minuten

Für Ihre Mithilfe und für Ihre wertvolle Zeit danken wir Ihnen herzlich!

Bei Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung:

Meta Lehmann und Corinne Moser
econcept
Gerechtigkeitsgasse 20
8002 Zürich
Meta.lehmann@econcept.ch
Corinne.moser@econcept.ch

econcept

Forschung / Beratung / Evaluation



HSR

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL

FHO Fachhochschule Ostschweiz



Fragen zur Raumtemperatur Winter

1.1 Wie zufrieden sind Sie momentan mit der Temperatur in Ihrer Wohnung?

	viel zu kalt	etwas zu kalt	gerade richtig	etwas zu warm	viel zu warm
Die Temperatur in meiner Wohnung ist ...	<input type="radio"/>				
Der Boden in meiner Wohnung ist...	<input type="radio"/>				

1.2 Im Winter gibt es kalte und warme Tage: Wie beurteilen Sie die Temperatur in Ihrer Wohnung je nachdem wie kalt oder warm es draussen ist?

	viel zu kalt	etwas zu kalt	gerade richtig	etwas zu warm	viel zu warm
Wenn es im Winter draussen <u>sehr kalt</u> ist, ist es in meiner Wohnung ...	<input type="radio"/>				
Wenn es im Winter draussen <u>eher warm</u> ist, ist es in meiner Wohnung ...	<input type="radio"/>				

1.3 Wie zufrieden sind Sie momentan (d.h. im Winter) mit der Luftqualität in Ihrer Wohnung?

	viel zu feucht	etwas zu feucht	gerade richtig	etwas zu trocken	viel zu trocken
Die Luft in meiner Wohnung ist ...	<input type="radio"/>				

1.4 Haben Sie in Ihrer Wohnung im Winter regelmässig Luftbefeuchter in Betrieb?

<input type="radio"/> Ja, ich habe bzw. wir haben <u>einen</u> Luftbefeuchter in Betrieb
<input type="radio"/> Ja, ich habe bzw. wir haben <u>zwei</u> Luftbefeuchter in Betrieb
<input type="radio"/> Ja, ich habe bzw. wir haben <u>drei oder mehr</u> Luftbefeuchter in Betrieb
<input type="radio"/> Nein
<input type="radio"/> Weiss nicht

1.5 Bitte geben Sie an, wie stark Sie den folgenden Aussagen zustimmen.

	Stimme nicht zu	Stimme eher nicht zu	Teils-teils	Stimme eher zu	Stimme zu
Ich bin mit der Luftqualität in der Wohnung zufrieden.	<input type="radio"/>				
In der Wohnung ist die Luft oft stickig (abgestanden), wenn die Fenster geschlossen sind.	<input type="radio"/>				
In der Wohnung spüre ich oft Zugluft.	<input type="radio"/>				

1.6 Wie warm ist es jetzt im Januar/Februar üblicherweise bei Ihnen im Wohnzimmer? Bitte geben Sie die Temperatur an und kreuzen Sie an, ob es sich um eine Schätzung oder Messung handelt.

	Temperatur	Das ist eine Schätzung	Das ist eine Messung
Temperatur im Wohnzimmer (Grad Celsius, °C)	_____°C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

1.7 Nehmen Sie selbst Einstellungen an der Raumtemperaturregelung vor, d. h. bedienen Sie die Heizungsregelung in den Zimmern selbst?

<input type="radio"/> Ja
<input type="radio"/> Nein, nie
Falls Sie <u>nein</u> angekreuzt haben, kreuzen Sie bitte an, weshalb Sie die Heizung nicht regeln (mehrere Antworten möglich).
Bitte alle zutreffende Gründe ankreuzen
Ich weiss nicht, <u>wo</u> ich die Heizung einstellen kann <input type="radio"/>
Ich weiss nicht, <u>wie</u> ich die Heizung einstellen kann <input type="radio"/>
Die Heizungsregelung funktioniert nicht <input type="radio"/>
Dafür ist jemand anderes in meinem Haushalt zuständig <input type="radio"/>
Anderer Grund (bitte angeben): _____ <input type="radio"/>

1.8 Was machen Sie im Winter, wenn es Ihnen in Ihrer Wohnung zu kalt wird? Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Antworten an (mehrere Antworten möglich).

	Ja
Ich drehe den Heizungsregler in den entsprechenden Zimmern hoch	<input type="radio"/>
Ich bitte den Hauswart (<i>Namen eingefügt</i>), die Heizung im Gebäude generell höher einzustellen	<input type="radio"/>
Ich ziehe zusätzliche Kleidung an	<input type="radio"/>
Ich ziehe warme Socken oder Hausschuhe (Finken) an	<input type="radio"/>
Ich wende mich an die Verwaltung	<input type="radio"/>
Ich benutze zusätzliche Decken	<input type="radio"/>
Ich schalte ein Heizgerät ein (z.B. Elektro-Öfeli)	<input type="radio"/>
Ich unternehme nichts	<input type="radio"/>
Anderes, nämlich: _____ (bitte angeben)	<input type="radio"/>



1.9 Was machen Sie im Winter, wenn es Ihnen in Ihrer Wohnung zu warm wird? Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Antworten an (mehrere Antworten möglich).

	Ja
Ich drehe den Heizungsregler in den entsprechenden Zimmern runter	<input type="radio"/>
Ich trage weniger Kleidung	<input type="radio"/>
Ich bitte den Hauswart (<i>Namen eingefügt</i>), die Heizung im Gebäude generell tiefer einzustellen	<input type="radio"/>
Ich wende mich an die Verwaltung	<input type="radio"/>
Ich öffne die Fenster	<input type="radio"/>
Ich unternehme nichts	<input type="radio"/>
Anderes, nämlich: _____ (bitte angeben)	<input type="radio"/>

Fragen zum Lüften und zu den Storen im Winter

2.1 Haben Sie (oder jemand anderes in Ihrem Haushalt) beim Einzug oder bei anderer Gelegenheit Informationen zum Fensterlüften erhalten?

<input type="radio"/> Ja, ich kann mich an die Informationen erinnern
<input type="radio"/> Ja, aber ich erinnere mich nicht mehr an die Informationen
<input type="radio"/> Nein
<input type="radio"/> Weiss nicht

2.2 Sind bei Ihnen im Winter Fenster manchmal über einen längeren Zeitraum geöffnet?

<input type="radio"/> Nein, das kommt praktisch nie vor	
<input type="radio"/> Ja, das kommt vor	
Falls Sie <u>ja</u> angekreuzt haben, kreuzen Sie bitte die zutreffenden Gründe an: Die Fenster sind aus den folgenden Gründen länger geöffnet (mehrere Antworten möglich):	
Bitte alle zutreffende Gründe ankreuzen	
Damit Essens- oder sonstige Gerüche verschwinden	<input type="radio"/>
Für frische Luft in Bad / WC	<input type="radio"/>
Um frische Luft zuzuführen (z.B. beim Schlafen)	<input type="radio"/>
Weil es zu warm ist	<input type="radio"/>
Weil ich es vergesse, die Fenster wieder zu schliessen	<input type="radio"/>
Um eine Verbindung nach draussen zu haben (Geräusche etc.)	<input type="radio"/>
Anderer Grund (bitte angeben): _____	<input type="radio"/>

2.3 Die Komfortlüftung in Ihrer Wohnung kann reguliert werden. Nehmen Sie selbst Einstellungen an der Lüftung vor, d. h. bedienen Sie die Lüftungsregelung in den Zimmern selbst?

<input type="radio"/> Ja	
<input type="radio"/> Nein, nie	
Falls Sie <u>nein</u> angekreuzt haben, kreuzen Sie bitte an, weshalb Sie die Lüftung nicht regeln (mehrere Antworten möglich).	
	Bitte alle zutreffende Gründe ankreuzen
Ich weiss nicht, <u>wo</u> ich die Lüftung einstellen kann	<input type="radio"/>
Ich weiss nicht, <u>wie</u> ich die Lüftung einstellen kann	<input type="radio"/>
Die Lüftungsregelung funktioniert nicht	<input type="radio"/>
Dafür ist jemand anderes in meinem Haushalt zuständig	<input type="radio"/>
Anderer Grund (bitte angeben): _____	<input type="radio"/>

2.4 Sind tagsüber im Winter die Storen Ihrer Wohnung geschlossen?

<input type="radio"/> Nein, fast nie oder nie	
<input type="radio"/> Ja, das kommt vor	
Falls Sie <u>ja</u> angekreuzt haben, kreuzen Sie bitte die zutreffenden Gründe an. Die Storen sind tagsüber aus den folgenden Gründen geschlossen (mehrere Antworten möglich):	
	Bitte alle zutreffende Gründe ankreuzen
Damit mich das Sonnenlicht nicht blendet.	<input type="radio"/>
Damit man mir nicht direkt in die Wohnung sieht.	<input type="radio"/>
Um den Lichteinfall zu reduzieren (z. B. zum Schlafen)	<input type="radio"/>
Damit es von der Sonne nicht zu heiss wird.	<input type="radio"/>
Weil ich diese Räume tagsüber nicht nutze	<input type="radio"/>
Wenn ich weggehe, schliesse ich die Storen	<input type="radio"/>
Weil ich vergesse, die Storen jeweils hochzudrehen	<input type="radio"/>
Weil ich denke, dass man mit heruntergelassenen Storen weniger heizen muss	<input type="radio"/>
Ich schliesse die Storen als Schutz vor Einbrüchen.	<input type="radio"/>
Anderer Grund (bitte angeben): _____	<input type="radio"/>



Fragen zur Raumtemperatur und zum Lüften im Sommer

3.1 Lassen Sie im heissen Sommer die Fenster nachts oder am frühen Morgen zur Kühlung über einen längeren Zeitraum geöffnet?

<input type="radio"/> Ja, häufig
<input type="radio"/> Nein, selten
Falls Sie <u>nein</u> angekreuzt haben, kreuzen Sie bitte die zutreffenden Gründe an: Die Fenster sind aus den folgenden Gründen nachts oder morgens im Sommer nicht länger geöffnet (mehrere Antworten möglich):
Bitte alle zutreffende Gründe ankreuzen
Der Lärm von draussen stört. <input type="radio"/>
Ich bzw. wir vergesse(n) meistens, die Fenster zu öffnen. <input type="radio"/>
Um Einbrüche zu verhindern <input type="radio"/>
Ich bin / wir sind morgens nicht zuhause, um die Fenster zu öffnen. <input type="radio"/>

3.2 Wie beurteilen Sie die Temperatur in Ihrer Wohnung wenn es im Sommer draussen sehr heiss ist?

	<i>viel zu heiss</i>	<i>etwas zu heiss</i>	<i>gerade richtig</i>	<i>etwas zu kühl</i>	<i>viel zu kühl</i>
An einem heissen Sommertag ist es am Morgen in meiner Wohnung ...	<input type="radio"/>				
An einem heissen Sommertag ist es am Abend in meiner Wohnung ...	<input type="radio"/>				

3.3 Was machen Sie im Sommer, wenn es Ihnen in Ihrer Wohnung zu warm wird? Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Antworten an. (mehrere Antworten möglich)

	<i>Ja</i>
Ich drehe den Lüftungsregler in den entsprechenden Zimmern hoch	<input type="radio"/>
Ich schliesse die Storen.	<input type="radio"/>
Ich öffne die Fenster auch tagsüber.	<input type="radio"/>
Ich installiere einen oder mehrere Ventilator(en) in der Wohnung.	<input type="radio"/>
Ich ziehe weniger Kleidung an	<input type="radio"/>
Ich wende mich an die Verwaltung	<input type="radio"/>
Ich schalte ein eigenes Klimagerät ein.	<input type="radio"/>
Ich unternehme nichts	<input type="radio"/>
Anderes, nämlich: _____ (bitte angeben)	<input type="radio"/>

Ihre Ansichten zum Thema Energiesparen

4.1 Bitte nehmen Sie den folgenden Aussagen Stellung.

	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	teils-teils	stimme eher zu	stimme zu
Das Thema Energiesparen ist in meinem Alltag wichtig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich könnte im Alltag noch einiges an Energie einsparen, wenn ich mein Verhalten entsprechend ändern würde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Klimawandel ist ein ernst zu nehmendes Problem, gegen das wir als Gesellschaft aktiv werden müssen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu, im Alltag Energiespartipps dauerhaft umzusetzen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich würde nicht auf persönlichen Komfort verzichten, um Energie zu sparen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich weiss, bei welchen Tätigkeiten im Haushalt ich am meisten Energie verbrauche.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die meisten Menschen in meinem Umfeld gehen sparsam mit Energie um.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die meisten Menschen in meinem Umfeld erwarten von mir, dass ich sparsam mit Energie umgehe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ihr Haushalt

5.1 Wie viele Personen leben in Ihrer Wohnung (Sie eingeschlossen)?

Erwachsene über 65 Jahren:	Anzahl: ____
Erwachsene zwischen 19 und 65 Jahren	Anzahl: ____
Kinder oder Jugendliche zwischen 10 und 18 Jahren	Anzahl: ____
Kinder unter 10 Jahren	Anzahl: ____

5.2 Gibt es unter der Woche Tage, an denen tagsüber während mehreren Stunden alle Wohnungsbewohner/innen ausser Haus sind (z.B. zum Arbeiten, im Rahmen der Ausbildung, etc.)?

<input type="radio"/> Ja, an 1-2 Wochentagen
<input type="radio"/> Ja, an 3-5 Wochentagen
<input type="radio"/> Nein
<input type="radio"/> Keine Angabe



Angaben zu Ihrer Person

6.1 *Ihr Geschlecht:*

- Frau
- Mann
- Anderes, bzw. keine Angabe

6.2 *Bitte geben Sie Ihren Jahrgang an (vier Ziffern, z.B. 1982):*

Jahrgang: _____

6.3 *Bitte kreuzen Sie Ihre höchste abgeschlossene Ausbildung an:*

- kein Schulabschluss oder obligatorische Schulzeit
- Berufslehre, Berufsmittelschule, Vollzeitberufsschule, Handelsschule
- Berufsmatura, Maturitätsschule, Lehrer/innenseminar, Diplom- und Wirtschaftsmittelschule
- Fachhochschule, Universität, ETH
- andere Ausbildung, bitte angeben: _____

Haben Sie Rückmeldungen oder Kommentare zur Befragung?

Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben, den Fragebogen auszufüllen.